



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



ESTIMACIÓN DE REGÍMENES DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROBIOLÓGICOS EN 8 RÍOS DEL ENTORNO DEL PARQUE NACIONAL DE PICOS DE EUROPA

Trabajo realizado por:

Arkaitz Garmendia Aduriz

Dirigido:

Francisco Jesús Peñas Silva

José Barquín Ortiz

Titulación:

**Máster Universitario en
Ingeniería de Caminos, Canales y
Puertos**

Santander, septiembre de 2021

TRABAJO FIN DE MÁSTER





RESUMEN

Hoy en día, el agua es un bien escaso en muchos lugares del mundo y es por ello por lo que es vital hacer un buen uso de él. Para ello es muy importante crear medidas para la gestión del agua. Este tema toma aún más peso en relación con el cambio climático. El cambio climático conlleva al aumento de la frecuencia, la intensidad, la duración de las sequías y la temperatura a nivel global. Estos efectos causados tienen consecuencias directas en los diferentes ecosistemas. Es por ello por lo que es de vital importancia saber gestionar los recursos hídricos de los que disponemos.

El punto de interés del presente trabajo se focaliza en el Parque Nacional de Picos de Europa (PNPE). Este parque es el parque más antiguo de España. Lo que comenzó siendo El Parque Nacional de Covadonga en el año 1918, amplió sus límites 77 años después para dar nombre a lo que actualmente conocemos como Parque Nacional de Picos de Europa. Este parque se extiende a los tres macizos montañosos por territorio de Asturias, Cantabria y León. De esta manera, el parque abarca 67.455 hectáreas de superficie. La importancia de este parque reside en su flora y fauna, puesto que en el podemos encontrar diferentes especies de Europa de norte e incluso especies propias del mediterráneo. Debido a estar características tan particulares, el parque paso a formar parte de la Red Natura 2000.

Debido a las diferentes actividades socioeconómicas que tienen lugar en el parque, así como la ganadería, turismo y generación de energía mediante centrales hidroeléctricas, la gestión de los recursos hídricos es indispensable para poder mantener el ecosistema que habita en él. Gracias a pertenecer a la Red Natura 2000, el proyecto LIFE, mediante su programa DIVAQUA, financia el proyecto de conservación que se realiza en el PNPE. Una de las medidas que se propone desde la comisión europea para la adecuada conservación del ecosistema es el cálculo de los caudales ecológicos mínimos en diferentes tramos de la red fluvial que conforma el parque. En el presente trabajo, el objetivo de este es calcular el caudal ecológico mínimo necesario en diferentes tramos de estudio correspondientes al Parque Nacional de Picos de Europa para mantener un nivel de habitabilidad adecuado de los diferentes estadios de la trucha como son los adultos, juveniles, alevines y la freza. De esta manera, estamos garantizando la conservación del ecosistema persistente en dicho enclave natural.

Para el cálculo de los caudales ecológicos mínimos existen diversas metodologías, pero en este trabajo se ha optado emplear el método hidrobiológico. Este método consiste en combinar un modelo hidráulico con uno biológico para poder simular las necesidades biológicas de los diferentes estadios de la trucha para distintas condiciones hidráulicas. Para poder llevar a cabo esta metodología, ha sido necesario llevar a cabo 2 campañas de mediciones diferentes, una correspondiente al estiaje y la otra correspondiente a una época con caudales superiores. Al realizar el trabajo de campo, hay que combinar 2 acciones diferente. La primera es obtener una topografía del lugar en el que se toman los datos y la otra es la recogida de datos hidráulicos como los son la altura de la lámina de agua, la velocidad y el caudal de cada transecto que cada tramo de estudio. Con los datos obtenido en campo, se puede crear el modelo hidráulico.

Para poder completar el modelo hidrobiológico, lo que se hace es trabajar con las condiciones de habitabilidad de la trucha para poder definir las necesidades biológicas que tienen los diferentes estadios de la trucha. Como estos datos son muy complicados de obtener, lo que se ha hecho en este trabajo es usar curvas establecidas en estudios realizados anteriormente. Con



esas curvas de habitabilidad y con las características hidráulicas y topográficas del río, se procede a combinar los datos para obtener el modelo definitivo.

Con los datos que se obtienen en modelo hidrobiológico, el siguiente paso la obtención de registros que caudales naturales en los diferentes tramos. Esto es necesario recogerlo puesto que el caudal ecológico mínimo que se puede liberar en cada tramo va a estar directamente limitado por el caudal natural, puesto que en ningún momento es posible que se dé la situación de que el caudal ecológico pueda ser mayor que el caudal natural que lleva el río. En función de las condiciones naturales y las necesidades biológicas que se extraen del modelo hidrobiológico, se establecen una serie de criterios de habitabilidad mínimas para poder obtener el caudal ecológico mínimo circulante en el río para el adecuado mantenimiento del hábitat en los diferentes tramos de la red fluvial.

Una vez que es el objetivo del trabajo, los caudales ecológicos mínimos, se realiza una discusión y se sacan una serie de conclusiones teniendo en cuenta diferentes aspectos como son la convivencia de la actividad socioeconómica del lugar con el hábitat y aspectos favorables y desfavorables de la metodología.



ABSTRACT

Today, water is a scarce commodity in many parts of the world and that is why it is vital to make good use of it. For this, it is very important to create measures for water management. This issue takes on even more weight in relation to climate change. Climate change leads to an increase in the frequency, intensity, duration of droughts and global temperature. These caused effects have direct consequences on the different ecosystems. That is why it is vitally important to know how to manage the water resources that we have.

The point of interest of this work is focused on the Picos de Europa National Park (PNPE). This park is the oldest park in Spain. What began as the Covadonga National Park in 1918, expanded its limits 77 years later to give its name to what we now know as the Picos de Europa National Park. This park extends to the three mountain ranges in the territory of Asturias, Cantabria and León. Thus, the park covers an area of 67,455 hectares. The importance of this park lies in its flora and fauna, since in it we can find different species from northern Europe and even species from the Mediterranean. Due to its unique characteristics, the park became part of the Natura 2000 Network.

Due to the different socio-economic activities that take place in the park, as well as livestock, tourism and power generation through hydroelectric plants, the management of water resources is essential to be able to maintain the ecosystem that inhabits it. Thanks to belonging to the Natura 2000 Network, the LIFE project, through its DIVAQUA program, finances the conservation project carried out in the PNPE. One of the measures proposed by the European Commission for the adequate conservation of the ecosystem is the calculation of the minimum ecological flows in different sections of the river network that make up the park. In the present work, the objective of this is to calculate the minimum ecological flow necessary in different study sections corresponding to the Picos de Europa National Park to maintain an adequate level of habitability of the different stages of trout such as adults, juveniles, fry and spawn. In this way, we are guaranteeing the conservation of the persistent ecosystem in said natural enclave.

For the calculation of the minimum ecological flows there are various methodologies, but in this work it has been chosen to use the hydrobiological method. This method consists of combining a hydraulic model with a biological one to be able to simulate the biological needs of the different stages of the trout for different hydraulic conditions. In order to carry out this methodology, it has been necessary to carry out 2 different measurement campaigns, one corresponding to the dry season and the other corresponding to a time with higher flows. When doing field work, you have to combine 2 different actions. The first is to obtain a topography of the place where the data are taken and the other is the collection of hydraulic data such as the height of the water sheet, the speed and the flow of each transect that each section of study. With the data obtained in the field, the hydraulic model can be created.

In order to complete the hydrobiological model, what is done is to work with the living conditions of the trout to be able to define the biological needs of the different stages of the trout. As these data are very complicated to obtain, what has been done in this work is to use curves established in previous studies. With these habitability curves and with the hydraulic and topographic characteristics of the river, the data is combined to obtain the definitive model.



With the data obtained in the hydrobiological model, the next step is to obtain records of natural flows in the different sections. This is necessary to collect it since the minimum ecological flow that can be released in each section will be directly limited by the natural flow, since at no time is it possible that the situation will arise that the ecological flow may be greater than the flow. natural that the river carries. Depending on the natural conditions and the biological needs that are extracted from the hydrobiological model, a series of minimum habitability criteria are established to be able to obtain the minimum ecological flow circulating in the river for the adequate maintenance of the habitat in the different sections of the network. river.

Once the objective of the work is the minimum ecological flow, a discussion is carried out and a series of conclusions are drawn taking into account different aspects such as the coexistence of the socioeconomic activity of the place with the habitat and favorable and unfavorable aspects of The methodology.





Contenido

RESUMEN	2
ABSTRACT	4
1.- INTRODUCCIÓN.....	8
2.-ÁREA DE ESTUDIO	13
3.-METODOLOGÍA	14
3.1.-ESTIMACION DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MÍNIMOS MEDIANTE SIMULACIÓN DEL HABITAT.....	14
3.1.1.-MODELO HIDRÁULICO	14
3.1.2.- MODELO BIOLÓGICO	22
4.- RESULTADOS	27
4.1.- ANIEZO	28
4.2.- BULLÓN	32
4.3.- CASAÑO.....	35
4.4.-DEVA	39
4.5.- DUJE	43
4.6.- ARENAL.....	47
4.7.-BULNES.....	51
4.8.- CARES	54
5.- DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	58
6.-BIBLIOGRAFÍA.....	62



1.- INTRODUCCIÓN

El agua es un bien escaso en muchas zonas del mundo y de España donde existe una importante presión antrópica sobre el medio hídrico debido a la utilización del recurso. En nuestro territorio cada vez son más recurrentes los episodios de sequías y se van viendo amplificadas con el transcurso del tiempo. Además del incremento de las temperaturas, el calentamiento global también es responsable de alterar el ciclo hidrológico y esto conlleva a tener un clima más extremo en diferentes lugares del planeta.

Hasta hace pocas décadas la explotación y el aprovechamiento de los recursos hídricos en España y en muchas otras partes del mundo no se ha realizado de una manera integrada. En este sentido, el aprovechamiento de los recursos se realizaba de manera más individualizada, sin considerar otras actividades, otros usuarios y, por supuesto, sin considerar las implicaciones ambientales. Esto ha conllevado, en muchas ocasiones, la sobreexplotación de los recursos hídricos, conduciendo a muchos sistemas fluviales a condiciones extremas e incluso al agotamiento de acuíferos y a la desecación de cursos fluviales. En este contexto, el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, 2018) demuestra que hay partes de España que están llevando al límite la sobreexplotación de cauces superficiales (Figura 1).

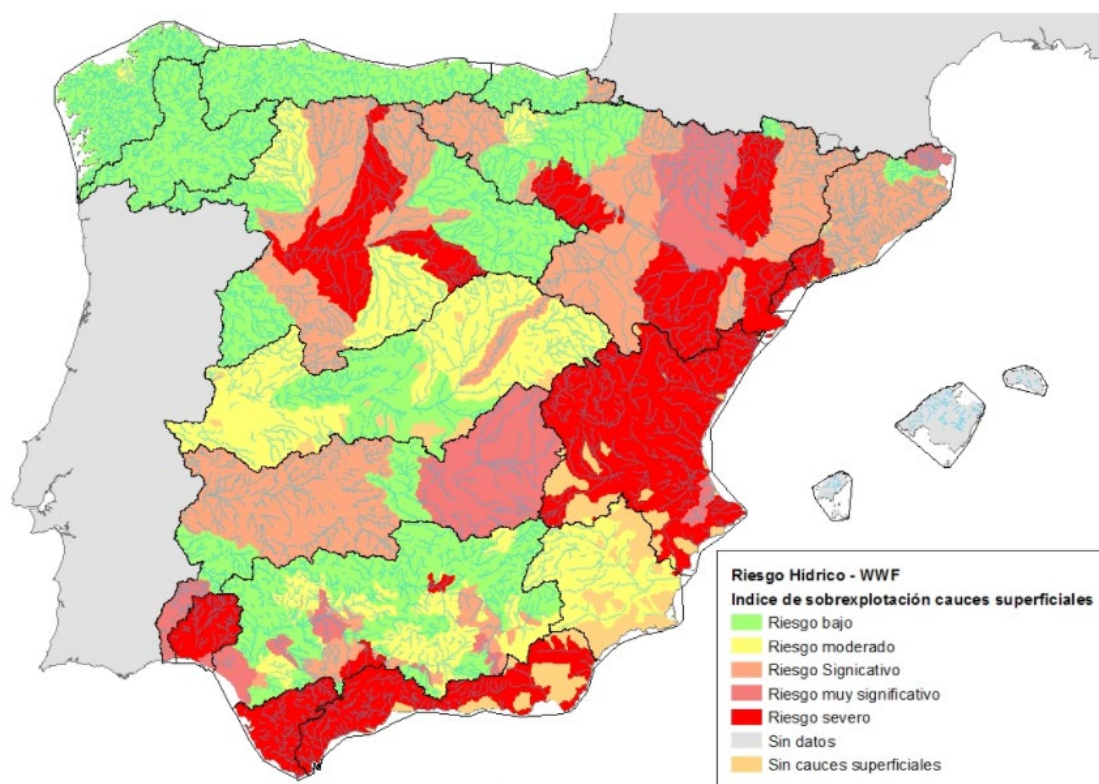


Figura 1: Mapa de sobreexplotación de los cauces superficiales en España

Tal y como se puede apreciar en la imagen en las zonas sur y este de España este fenómeno es más acusado que en el resto del país. En este contexto, hay dos factores, uno de origen natural y otro antrópico, que juegan un papel fundamental en esta asimetría. Por un lado, la acusada variabilidad climática de España genera una mayor estrés y riesgo hídrico en las zonas del sur y el levante, las cuales están sujetas a un régimen de bajas precipitaciones y altas temperaturas muy acusado. Es más, de acuerdo con las últimas predicciones de cambio climático, es probable que las características climáticas de estas zonas se vuelvan más extremas, aumentando



consecuentemente el riesgo hídrico. Por otro lado, el aprovechamiento y consumo del agua varía a lo largo de la geografía de española y en las diferentes cuencas hidrográficas, es decir, se destina a los mismos usos. En este sentido, las regiones más secas son las que más recursos hídricos destinan a la agricultura. Según datos publicados por el Ministerio de Agricultura, el consumo de agua se distribuye de la siguiente manera:

- 79% para la agricultura
- 12% para abastecimiento civil
- 10% para la industria
- 3% para servicios

Estos datos reflejan una imagen global del uso del agua que se hace en el país, pero esto cambia en función de la zona geográfica en la que nos situamos, puesto que no en todo el país la actividad es la misma. Cabe destacar que el riesgo hídrico que se puede dar en una determinada cuenca del país, no todo es debido al uso del agua, sino que también influye la climatología y los procesos derivados de este que se den en la zona.

Independientemente de la distribución de usos en cada cuenca, priorizada por cada confederación hidrográfica, queda patente que la sobreexplotación de los recursos y la seguridad hídricos es un problema de primer orden en nuestro país. Los gestores del agua han recurrido, tradicionalmente, a soluciones ingenieriles para solventar la escasez de recursos, especialmente durante las épocas de estiaje, entre las que destacan:

- Construcción de presas y embalses
- Planes de trasvases de agua entre diferentes cuencas
- Uso de los acuíferos

No obstante, los programas de aprovechamiento hídrico basados en estos esquemas no han demostrado ser siempre las mejores soluciones, dado que la falta de integración de los diferentes usos y usuarios ha mantenido los problemas de abastecimiento a largo plazo y ha generado un importante problema de degradación ambiental. En este sentido, desde hace unas décadas, la gestión de los recursos hídricos ha sufrido un cambio de paradigma y, hoy en día, se entiende que la Gestión Integrada de Cuenca (GIC) es la mejor alternativa para asegurar y maximizar el rendimiento de los recursos y la conservación de los ecosistemas, ya que trata de atender las demandas de gestores y usuarios para una gestión efectiva del agua. En este sentido, la GIC considera la definición e implementación de caudales ecológicos como una de las herramientas para asegurar el mantenimiento de un estado de conservación adecuado de los ecosistemas acuáticos. Según la Declaración de Brisbane (ICID, 2007) se entiende caudal ecológico como “la cantidad, calidad y régimen de flujo necesario para sostener los ecosistemas dulceacuícolas, además de los componentes, procesos y funciones ecológicas de los que depende la sociedad humana”

Aunque “históricamente, los caudales ecológicos aparecen nombrados de manera escueta en la legislación española relacionada con la gestión del agua desde 1942, no es hasta la publicación de la Directiva Marco del Agua a escala europea a principios de la década de los 2000s, cuando la implementación de los caudales ecológicos pasa a cobrar importancia y es considerada de manera específica en la legislación que rige actualmente la planificación hidrológica (Orden ARM/2656/2008). Partiendo de la Instrucción de Planificación Hidrológica, las Confederaciones hidrográficas elaboran los planes hidrológicos donde se establecen, entre otras muchas cosas,



los regímenes de caudales ecológicos en los ríos, aguas de transición y otros sistemas acuáticos. En cada cuenca existe un organismo encargado de controlar dichos caudales en los puntos de medida que se indiquen en la normativa de cada plan. Es cierto que el establecer un caudal ecológico mínimo en cada red fluvial repercute de manera directa en el nivel de los embalses y también en el recurso del agua útil del que disponemos para hacer uso de él en las diferentes actividades socioeconómicas del lugar. Por esta razón es importante llevar una buena regulación de dichos caudales.

Sin embargo, dada la escala a la que trabajan las confederaciones hidrográficas y la relativa inversión de recursos que requiere el cálculo e implementación de estos caudales ecológicos, muchos sistemas fluviales de tamaño reducido no son considerados a la hora de establecer punto de cálculo y control de regímenes de caudales ecológicos. Paradójicamente, muchos de estos sistemas fluviales, como los ríos de alta montaña, son considerados como zonas de alto valor ecológico y de alta fragilidad, donde las presiones e impactos antrópicos pueden tener repercusiones muy significativas. Uno de estos casos, es la cuenca de los ríos Deva-Cares, las cuales son el objetivo del presente trabajo. Cabe mencionar que este trabajo se enmarca en un proyecto más amplio, el proyecto DIVAQUA: Mejorando la diversidad acuática en Picos de Europa (<https://lifedivaqua.com/>). DIVAQUA es un proyecto de conservación s un proyecto de conservación medioambiental financiado por el programa LIFE de la comisión europea, cuyo objetivo es mantener y mejorar el estado de conservación de los hábitats y las especies de interés comunitario que aparecen en los ecosistemas acuáticos continentales de las cuencas que drenan el Parque Nacional de Picos de Europa (PNPE).

El PNPE es un espacio natural protegido español situado en la cordillera cantábrica en las provincias de Asturias, León y Cantabria. Es una de las mejores reservas mundiales de los ecosistemas ligados al bosque Atlántico e incluye la mayor formación caliza de la Europa atlántica. Este parque tiene mucha riqueza faunística ya que en él está representada toda la fauna cantábrica. Esta zona es el límite sur de muchas especies propias del norte de Europa y el límite norte de muchas especies propias del Mediterráneo. Además, podríamos decir que este enclave natural es único, es porque sostiene un cierto grado de actividad antrópica, en cuanto a que existe una explotación de sus recursos: Actividad ganadera, turismo y población estable y producción hidroeléctrica. Esto, se puede considerar una ventaja, ya que genera cierta riqueza en el territorio, pero también pasa a ser un problema para la conservación de los ecosistemas del lugar, entre ellos, los ecosistemas fluviales objeto de este trabajo. Dicho esto, cabe destacar que las actividades socioeconómicas que se desarrollan en el lugar y que pueden tener un impacto negativo en el estado de conservación y al uso de los recursos hídricos son los siguientes:

- Actividad ganadera (Figura 2): es la base de la economía de los pueblos que conviven con la naturaleza en el parque. Estos pueblos han sabido adaptarse a los diferentes ciclos naturales que propone el parque para poder llevar a cabo esta actividad puesto que la superficie apta para el cultivo y por lo tanto para el pastoreo es escasa. Esto lo que provoca es una gran concentración de la ganadería en puntos de la cuenca fluvial que puede repercutir no solo en la calidad del agua, sino también en la cantidad de agua disponible.



Figura 2: Actividad ganadera en el Parque Nacional de Picos de Europa

- El desarrollo turístico (Figura 3): Esta actividad es una alternativa a la economía tradicional del lugar como puede ser el de la ganadería. En los últimos años, la tendencia del turismo al parque ha ido en alza lo que ha provocado el incremento de necesidad de agua para abastecer a la población. Al igual que en el caso anterior, esta actividad económica es capaz de generar una importante riqueza en el territorio, pero desde el punto de vista ambiental, también puede generar un impacto negativo recursos hídricos y por lo tanto en el mantenimiento del ecosistema.



Figura 3: Actividad turística en el Parque Nacional de Picos de Europa

- Producción eléctrica (Figura 4): A lo largo de las redes fluviales de los ríos Deva y Cares, se pueden encontrar varias centrales hidroeléctricas que usan el agua como fuente de energía para cumplir con su cometido. Para que estas centrales hidroeléctricas puedan funcionar, tienen que generar un gradiente hidráulico y para ello, la manera más fácil es la construcción de presas. Además de la regulación de caudales, este tipo de estructuras también afecta al curso hidráulico y altera el paso de diferentes especies fluviales.



Figura 4: Central de Urdón

Teniendo en cuenta la importancia que tiene el propio parque y su ecosistema fluvial y los impactos potenciales que pueden generar por las presiones antrópicas sobre los recursos hídricos, este trabajo tiene como objetivo el establecer caudales ecológicos mínimos necesarios para mantener el ecosistema de la red fluvial del parque teniendo en cuenta la manera en que afecta el cambio de los caudales en los diferentes estadios de la trucha como son los adultos, juveniles, alevines y la freza.



2.-ÁREA DE ESTUDIO

El presente trabajo se ha llevado a cabo en el PNPE, cuya superficie es de 64.660 ha. Tiene un alto valor geológico puesto que en él se pueden encontrar piedras calizas y afloramientos de cuarcitas, areniscas y conglomerados. Otra de las características por las que se destaca este parque es la climatología que la acompaña y es que las condiciones climatológicas en esta área son muy variables. Esto se debe a que se encuentra relativamente cerca del mar Cantábrico (50 km) y a la altitud de las montañas (picos de hasta 2600 m de altitud). Debido a esta altitud de las montañas, la nieve representa gran parte de la precipitación anual de este enclave natural (del entorno al 20% de la precipitación), siendo esta superior a 2000 mm. Desde el punto de vista de la vegetación, también se pueden encontrar multitud de variedades de árboles (arce, roble, fresno, etc.). A medida que se va aumentando de altitud, la vegetación va cambiando, adaptándose a las condiciones alpinas encontrándonos así con arbustos de retama, brezo y demás.

En el presente trabajo se han seleccionado 7 tramos fluviales localizados en la red fluvial de las cuencas del Cares y del Deva. Estas son las principales cuencas del PNPE y las que están sujetas a un mayor grado de presión antrópica por lo cual, las que más atención requieren.

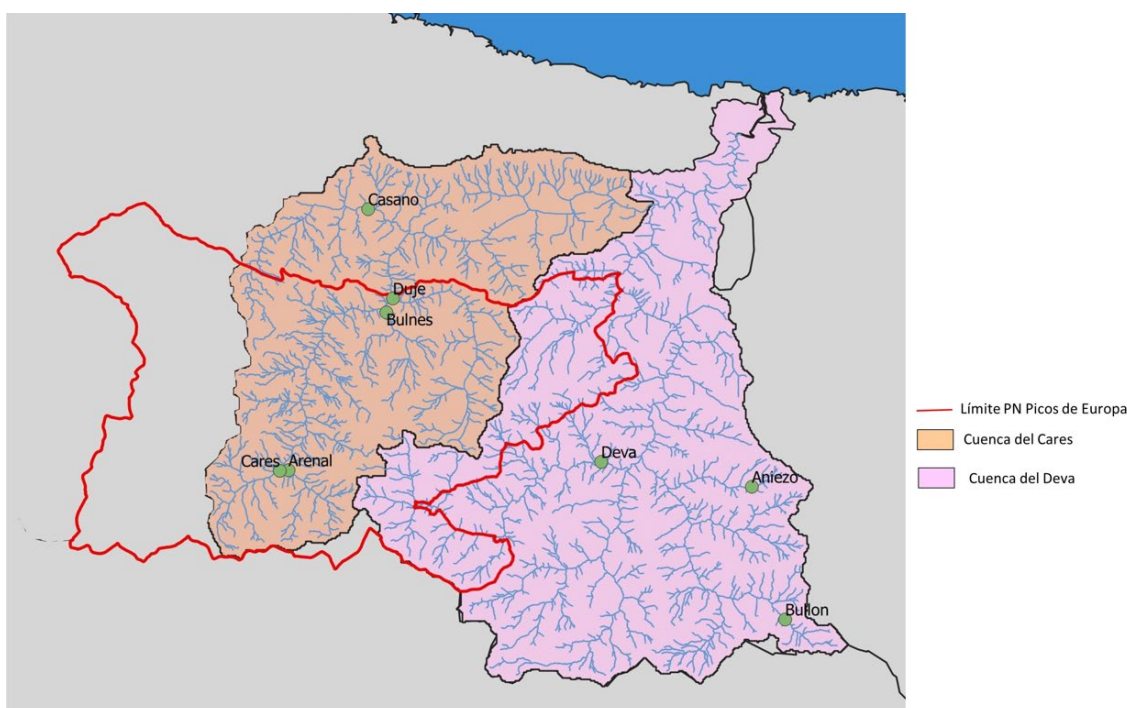


Figura 5: Cuenca del Cares y Deva



3.-METODOLOGÍA

En el presente trabajo se determinará un régimen de caudales ecológicos mínimos mediante un método hidrobiológico o de simulación de hábitat. De manera resumida, las tareas necesarias para ello han consistido en 1) el desarrollo y ajuste de modelos hidráulicos en los tramos objetivo y aplicación de modelos de hábitat de la trucha común 2) recopilación de series modeladas de los caudales naturales; 3) Valoración, a escala estacional, de la relación entre caudal y cantidad y calidad de hábitat; 4) Establecimiento de umbrales para la definición de un régimen estacional de caudales ecológicos mínimos.

Para el estudio de dichos tramos fluviales, los datos que se han empleado provienen de 2 proyectos de investigación realizados previamente llamados RECORAM y RIVERLANDS. La diferencia entre ellos 2 es la manera de obtener los datos, el número de datos recopilados es mayor en el proyecto RECORAM y, por lo tanto, algo más preciso que RIVERLANDS.

Teniendo en cuenta la información que podemos obtener de la combinación de esos resultados y conociendo también cual es el régimen de caudales naturales de cada río, podremos definir cuál es el caudal ecológico para las diferentes épocas del año.

3.1.-ESTIMACION DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MÍNIMOS MEDIANTE SIMULACIÓN DEL HABITAT

La estimación de los caudales ecológicos mínimos se ha realizado mediante métodos de simulación del hábitat que nos permiten cuantificar la cantidad de hábitat que tiene cada tramo de estudio para la fauna piscícola existente en esas zonas, centrándonos específicamente la trucha común (*Salmo trutta*). Esto es posible realizarlo en función del caudal y su relación con la altura de lámina de agua/profundidad y la velocidad del agua, ya que son dos factores fundamentales que determinan la calidad del hábitat o habitabilidad para la trucha común. Al tener la posibilidad de simular el hábitat en función de los parámetros anteriormente expuesto, esto nos permite determinar la cantidad de hábitat que puede tener cada tramo de estudio para diferentes escenarios posibles en el ámbito de la gestión de los recursos hídricos.

Como se ha venido exponiendo hasta ahora, para determinar el hábitat útil de la trucha común, lo que se ha hecho es combinar un modelo hidráulico, específico de cada tramo, con un modelo biológico para cada estadio de la trucha (alevín, juvenil, adulto) para así poder obtener el hábitat potencial útil (HPU). Una vez obtenido esto último, podremos establecer el régimen de caudales ecológicos para cada estación del año. Para la obtención de esto, las fases que se han realizado en este trabajo son los que se exponen a continuación.

3.1.1.-MODELO HIDRÁULICO

En esta primera parte del trabajo, se ha establecido un modelo hidráulico en el que se pueda representar los tramos de estudio. A lo largo de este trabajo, se ha empleado el módulo de modelado hidráulico incluso en el programa RHYHABSIM (Jowett, 1999). Este programa ha sido diseñado específicamente para llevar el cálculo de caudales ecológicos.

Para la realización del modelo hidráulico, hay 3 fases que hay que realizar: el trabajo de campo y el procesado de los datos, preparación de los archivos para el modelo hidráulico y el desarrollo y calibrado del propio modelo.



3.1.1.1.-FASE 1: TRABAJO DE CAMPO Y PROCESADO DE DATOS

Para el desarrollo del modelo hidráulico, los datos que son necesarios documentar son los siguientes:

- Velocidad
- Profundidad/altura de la lámina de agua
- Caudal circulante
- Topografía de la zona de estudio, tanto el lecho húmedo como el seco.
- Datos relacionados al sustrato

Para recabar los datos necesarios, se realizaron 2 campañas de mediciones. Estas campañas son las correspondientes a la época de estiaje y a otra época que nos permitió obtener caudales mayores que a los del estiaje. Es necesario realizar las 2 campañas para después poder obtener una curva de gasto adecuada que nos pueda permitir simular situaciones los más cercanas a la realidad.

Cabe decir que los datos hidráulicos y topográficos correspondiente a la época de estiaje provienen de 2 proyectos de investigación realizados previamente por el Equipo de Investigación donde se ha desarrollado el presente trabajo, llamados RECORAM y RIVERLANDS. Por otro lado, los datos hidráulicos correspondiente a la condición de caudales altos se realizó durante el mes de mayo de 2021.

A la hora de recoger los datos necesarios, lo primero que hay que hacer es delimitar la zona de estudio de una forma adecuada para poder representar bien las características de dicha zona. Para ello, hay que delimitar la longitud y anchura de cada tramo. Una vez delimitada la zona, cada río fue dividido en diferentes transectos. No todos fueron divididos de igual manera puesto que todos los ríos no tienen las mismas características y no se pueden representar de igual manera. Es por ello por lo que el número de transectos varía entre 3 y 7. Hay que decir también que existen pequeñas diferencias en la forma y precisión de recogida de datos según el proyecto al que pertenece el tramo. Así, el número de datos recopilados es mayor en el proyecto RECORAM y, por lo tanto, algo más preciso que RIVERLANDS.

En la campaña de estiaje, se marcaron los puntos de estudio para que, en la segunda campaña, las mediciones que se realizasen fueran en los mismos puntos y así poder obtener una información más real de la situación. Hay que decir también, que esas marcas no han podido ser del todo reconocidas en la segunda campaña y que por ello puede haber pequeñas desavenencias en la interpretación de los datos que más adelante se expondrán.

Para poder realizar el levantamiento topográfico de cada tramo de estudio se empleó un láser escáner. Este dispositivo permite medir miles de puntos topográficos (X; Y; Z) con precisión milimétrica y eso nos permite poder obtener una caracterización de los tramos fluviales muy acorde con la realidad. Dada las especificaciones técnicas del láser escáner, ha sido necesario realizar escáneres sucesivos a lo largo del tramo de estudio colocando elementos artificiales como pueden ser las esferas blancas de radio conocido, para después poder utilizar esas referencias a la hora de solapar los escáneres y obtener un solo proyecto representativo de la zona delimitada (Figura 6).

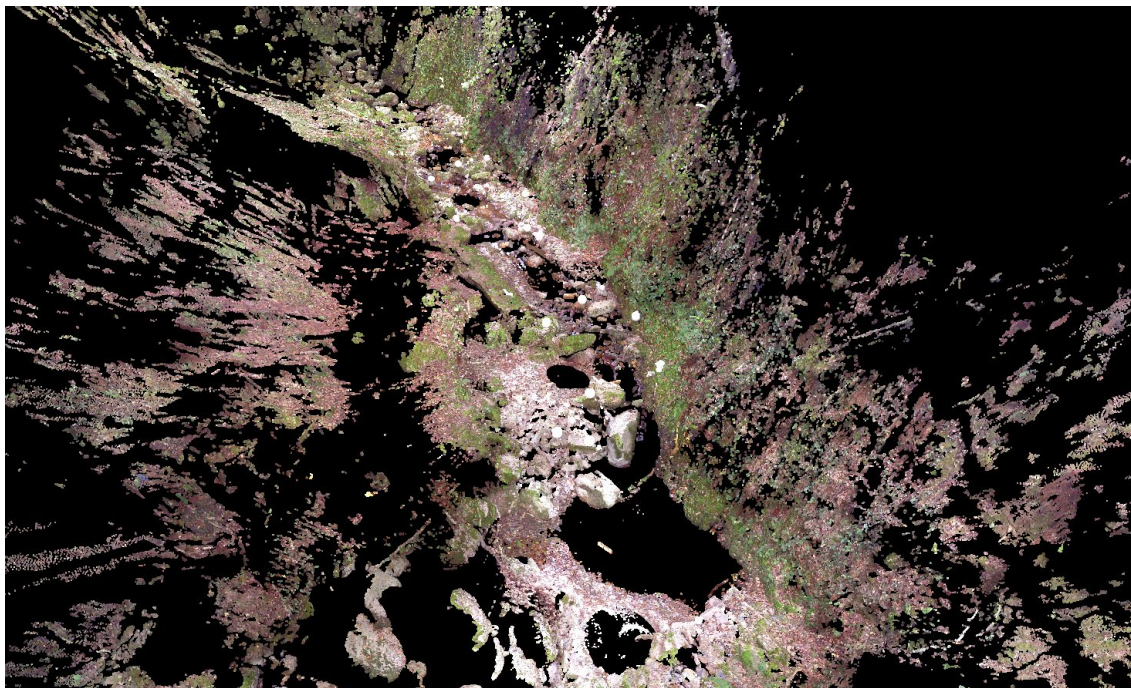


Figura 6: Representación del tramo fluvial del Aniezo

Antes de realizar de las mediciones topográficas e hidráulicas pertinentes, para la futura identificación de los transectos durante el procesado de los datos, se colocan carteles numerados y las esferas de radio conocido anteriormente mencionados. También se han empleado elementos artificiales que, a la hora de limpiar el escáner, nos ayudan a obtener la referencia de la lámina de agua para continuar trabajando.

Una vez tomado los puntos con el láser escáner y cuadradas las imágenes con los puntos de referencia, se procede al procesado de datos en el ordenador. El primer paso que se debe hacer es filtrar las imágenes. Lo que más obstaculiza el análisis de los transectos es la vegetación, por lo que se debe quitar la vegetación para así poder obtener la topografía de la zona que nos interesa. Esta labor no es nada sencilla y a veces, realizando ese cometido, puede pasar que junto a la eliminación de la vegetación también eliminemos puntos de la topografía de nuestro interés dejando así zonas “negras”, es decir, sin datos.

Tal y como se ha comentado anteriormente, a medida que se realizó el levantamiento topográfico, también se tomaron las mediciones hidráulicas en los transectos establecidos. Tanto en la primera como en la segunda campaña de campo se procedió de la misma manera:

- Una vez realizado la elección de los transectos, se ha arcado y colocado la cintra métrica a los elementos de anclaje que se hayan dispuesto en las orillas de los transectos. Como elementos de anclaje, en este caso, se usaron las propias piedras que se encontraban en las orillas.
- Después de la colocación de la cinta métrica, se ha dispuesto a medir el calado del río en diferentes puntos.
- Otra de las características hidráulicas cuantificada fue la velocidad del agua en los puntos en los que se ha obtenido la medida de la profundidad. Estas mediciones de velocidad se llevaron a cabo mediante ADV-2D FlowTracker de SonTek.



- Por último, un dato que es importante a la hora de crear el modelo hidráulico es la caracterización del sustrato existente en la zona. La caracterización que propone el programa RHYHABSIM cuenta con siete tamaños de sustrato más la vegetación (Tabla 3):

TIPO DE SUSTRATO	DIÁMETRO
VEGETACIÓN	
LIMOS	<0,062 mm
ARENAS	0,062 a 2 mm
GRAVAS FINAS	2 a 9 mm
GRAVAS GRUESAS	9 a 64 mm
CANTOS	64 a 256 mm
BLOQUES	>256 mm
ROCA MADRE	

Tabla 1: Tipos de sustrato

3.1.1.2.-FASE 2: PREPARACIÓN DE ARCHIVOS

Una vez se hayan recopilado los datos hidráulicos y topográficos de la zona delimitada y se haya hecho el primer procesado de los datos, lo que se debe de hacer es crear las secciones transversales de los transectos que se hayan elegido para poder introducirlos en el modelo hidráulico. Para poder crear estos perfiles, el programa que se ha empleado es Bentley Pointools V8i, que nos permite realizar una selección de puntos de interés. Estos puntos son los que van a facilitar al programa RHYHABSIM crear los perfiles uniendo los puntos insertados en él.

Lo que se debe de hacer es seleccionar los puntos alineados en el plano transversal al flujo del río correspondiente a cada uno de los transectos (Figura 7).

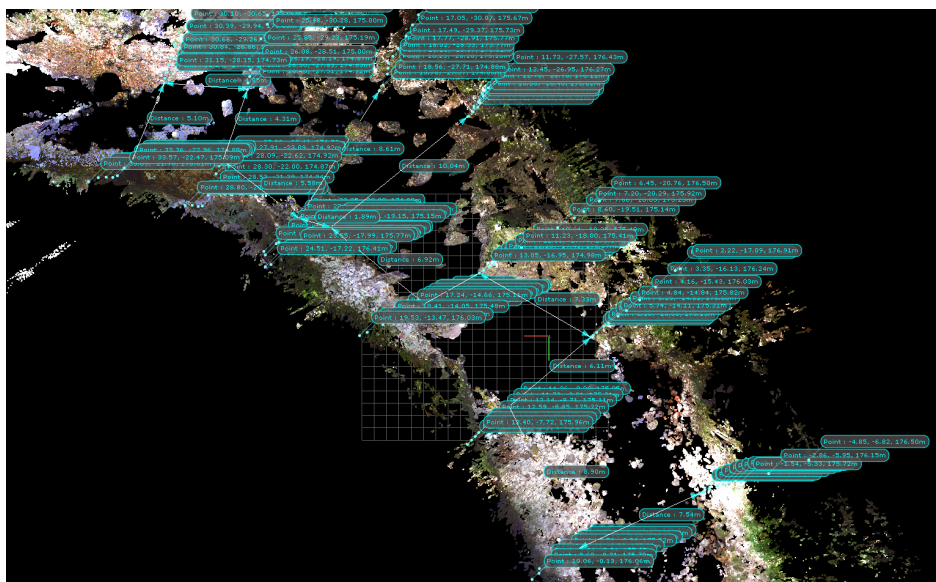


Figura 7: Alineación de puntos

Con estos puntos y con la anchura del transecto que se ha medido en el trabajo de campo, se genera un fichero de texto para poder ser tratados posteriormente en Excel. Para poder insertar los datos como se dice en el manual del programa, es necesario definir el perfil transversal con



los datos de la topografía del cauce húmedo y seco. Para ello, es necesario juntar los datos de la topografía con los datos obtenidos en la campaña de medición.

El tipo de formato que pide RHYHABSIM como introducción de los datos en el modelo hidráulico es el que se muestra a continuación.

```

BED      'BE' 'B' 'C' 'G' 'F' 'S' 'SI' 'V'
0.0 'Section 1' 1.107 METER 10.679 0.009
0.0 -1.0 0 0 0 0 0 0 0 0 100
1.5 0.0 0 0 0 0 0 0 0 0 100
1.7 0.87 1 24.2 0 0 890 0 0 10 0 0
2.2 1.2 2 25 0 0 90 0 0 10 0 0
3.6 1.04 2 24.5 0 0 80 20 0 0 0 0
3.7 0.97 4 27.7 0 0 80 20 0 0 0 0
4.7 0.78 6 20.9 0 0 80 20 0 0 0 0
5.7 0.52 14 20.7 0 0 30 60 10 0 0 0
6.7 0.30 13 21.2 0 0 30 60 10 0 0 0
8.0 0.24 15 21.1 0 0 20 80 0 0 0 0
9.5 0.24 16 21.4 0 0 50 50 0 0 0 0
11.0 0.22 11 20.2 0 0 50 50 0 0 0 0
12.5 0.20 13 21.1 0 0 20 70 10 0 0 0
14.0 0.23 12 20.9 0 0 20 70 10 0 0 0
15.5 0.29 13 20.2 0 0 20 70 10 0 0 0
17.0 0.38 17 20.9 0 0 20 70 10 0 0 0
18.0 0.47 20 20.5 0 0 10 70 20 0 0 0
19.0 0.63 18 20.5 0 0 10 70 20 0 0 0
20.0 0.65 5 24.1 0 0 10 70 20 0 0 0
21.0 0.84 2 22.5 0 0 20 60 20 0 0 0
21.4 0.78 1 23.2 0 0 30 70 0 0 0 0
21.6 0.0 0 0 60 0 0 0 0 0 0 40
22.0 -1.0 0 0 100 0 0 0 0 0 0 100
END
    
```

Figura 2: Ejemplo del formato a introducir

El formato de ese fichero contiene:

- Columna 1: distancias totales respecto a un punto de origen
- Columna 2: Profundidad de cada punto, siendo positivas las profundidades que quedan por debajo de ese nivel y negativas los puntos del lecho seco.
- Columna 3: velocidad en cada punto
- Resto de columnas: datos relacionados a los 8 diferentes sustratos mencionados en el procesado de datos.

En cuanto a la cabecera del fichero, lo que podemos apreciar es lo siguiente:

- Fila 1: Tipos de sustrato considerados. En el caso de este trabajo, estos sustratos son los anteriormente mencionados (Tabla 3).
- Fila 2: aquí es donde se pone la información general que se dispone del transecto, como es la distancia al inicio del tramo, el nombre de la sección entre comillas y la cota de la lámina de agua.

Es importante que después de cada transecto se disponga la palabra 'End' para que así el programa pueda identificar donde empieza y donde acaba la información de cada transecto.

Una vez tengamos este archivo preparado, podemos iniciar la tercera fase.

3.1.1.3.- FASE 3: MODELO HIDRÁULICO

Con los ficheros necesarios para introducirlos en el RHYHABSIM, el proceso de la simulación hidráulica la podemos resumir en los siguientes puntos:

1. Datos de entrada:



En este primer paso se analiza la calidad de los datos importados. Cuando algo no está debidamente expresado, el programa lanza una lista de los errores que ha encontrado en los datos de entrada comunicando en que fila se haya el error y cual es propio error por el cual lanza el mensaje. Estos errores serán los correspondientes a las distancias totales, velocidades, profundidades y a la composición del sustrato.

2. Cálculo del caudal y caudal de calibración:

Para poder reflejar el cauce del río de una manera más realista, el programa nos permite introducir datos relacionados a la inclinación y alineación de los diferentes transectos. Estos datos están relacionados a la dirección de los transectos respecto al eje longitudinal del tramo (Figura 9).

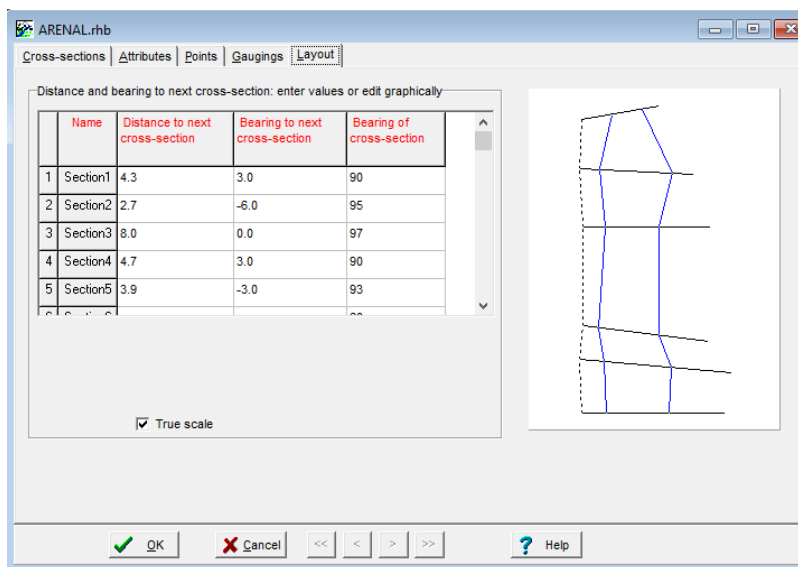


Figura 3: Geometría de los transectos

Las distancias entre transectos se introducen en el programa mediante el archivo de entrada de datos. Los otros 2 parámetros significan los siguiente:

- Rumbo al siguiente transecto: en este apartado se puede establecer la alineación de cada transecto respecto al anterior. Los ángulos que se introducen en este apartado se miden desde el eje longitudinal siendo ángulos positivos los ángulos que siguen en sentido antihorario. Los ángulos que siguen la dirección de las agujas del reloj serán negativos. Si se deja el ángulo predefinido que indica el programa (0°), todos los transectos quedaran paralelos y transversales el eje longitudinal.
- Rumbo del transecto: en este apartado, tal y como indica su nombre, se puede dar la inclinación que se desee a cada transecto. Al igual que en caso anterior, los ángulos se miden desde la vertical siendo los ángulos positivos aquellos que siguen la dirección de las agujas del reloj. Si se deja el ángulo que viene predefinido en el programa (90°), todos los transectos serán perpendiculares a la vertical.

Estos parámetros se modifican en función de la geometría real de los tramos fluviales analizados, tal y como se ha hecho a lo largo de este trabajo para poder hacer una simulación lo más realista posible y que los resultados sean más fiables.



Respecto al cálculo del caudal, RHYHABSIM los calcula a partir de los datos de distancia, profundidad y velocidad de cada transecto. Lo que el programa hace internamente es una iteración de los caudales calculando los factores de distribución de caudales medios, el calibrado de las curvas de gasto y el perfil longitudinal de la lámina de agua. El caudal de calibración se calcula como la media de los caudales obtenidos en cada transecto siempre y cuando la diferencia entre dichos caudales no supere el 15%. Si el programa detecta algún caudal que supere el 15% de error respecto a los demás, desecha ese dato y calcula el caudal con los demás datos que tiene.

3. Definición de las curvas de gasto:

Estas curvas son las que usa el programa RHYHABSIM para predecir la altura de la lámina de agua con caudales diferentes a los medidos en las 2 campañas de campo. Para ello, es importante que se introduzcan los datos relacionados a las 2 campañas (Figura 10).

En el archivo que se introduce en el programa, contiene solo las mediciones correspondientes a la época de estiaje. Para introducir los datos de la segunda campaña, cuyos caudales son mayores que la anterior, se hace de la siguiente manera.

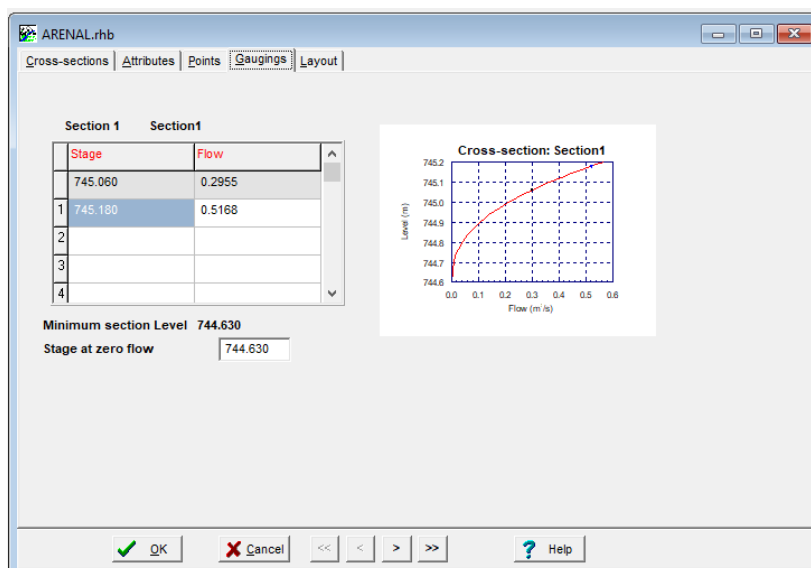


Figura 4: Datos de la segunda campaña y curva de gasto

En la parte izquierda de la imagen se puede apreciar como existen 2 cotas y 2 caudales. Esas medidas son correspondientes a las 2 campañas de mediciones realizadas.

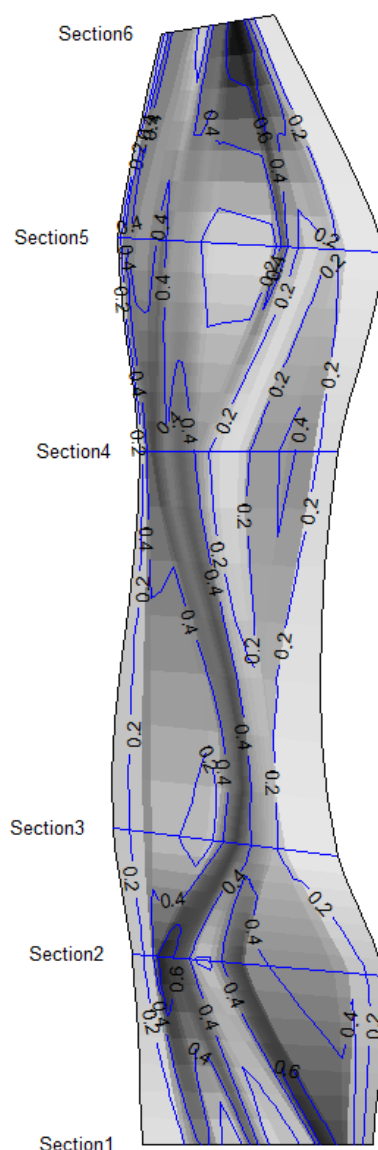
La segunda fila hace referencia a la altura de la lámina de agua y el caudal correspondiente a la segunda campaña. Para poder calcular esa nueva altura de lámina de agua, lo que se ha hecho es calcular la cota del punto más bajo de la sección en la primera campaña y después, una vez identificado ese punto, identificamos el punto más bajo de la sección con los datos de la segunda campaña y le sumamos la profundidad que existe en ese punto. Suponiendo que las mediciones se han hecho estrictamente en los mismos puntos, tanto en la primera como en la segunda campaña, los puntos deberían de coincidir y por eso se puede proceder de esta manera. La diferencia de cota que existe entre las 2 campañas es la crecida que tiene el río con el nuevo caudal.



Teniendo esto en cuenta, el programa calcula una serie de curvas de gasto para cada sección (Figura 10).

4. Cálculo de los factores de distribución de velocidad:

Estos factores de distribución se calculan para cada punto de desratización en cada transecto (Figura 11). Estos factores sirven para calcular las nuevas velocidades en cada punto en condiciones de caudal diferentes a las medidas. Hay que puntualizar que las relaciones entre los factores de distribución de velocidad entre los diferentes puntos son independientes del caudal, por lo que esas relaciones se mantienen constantes.





3.1.2.- MODELO BIOLÓGICO

La modelación del hábitat a partir del modelo hidráulico y posterior cálculo de caudales ecológicos requiere un modelo biológico que represente la habitabilidad de las especies y/o estadios objetivo en los diferentes tramos de estudio.

Los modelos de hábitat tienen la forma de curvas de preferencia. Estas curvas informan de la variabilidad de la preferencia de los distintos estadios/especies en un rango de profundidad, velocidad y sustrato, ya que son las variables hidráulicas consideradas en el modelo hidráulico. La preferencia varía de 0 (mínima preferencia) a 1 (máxima preferencia) (Figura 12).

```
Salmo trutta juvenil// Garcia de Jalón (1997)
DEPTH 0 0.125 0.28 0.95 1 2.25 3
WEIGHT 0 0 1 1 0.5 0 0
VELOCITY 0 0.1 0.31 0.5 0.65 0.9 1.2
WEIGHT 0.8 1 1 0.7 0.24 0.05 0
SUBSTRATE 1 2 3 4 5 6 7 8
WEIGHT 0.2 0.4 0.5 0.9 0.9 1 0.9 0.2
END
```

Figura 6: Datos de habitabilidad para el caso de la trucha juvenil

Debido a la dificultad en la obtención de los datos por la cantidad de datos que hay que recopilar y de los recursos que hacen falta para ello, los datos que se han empleado en este trabajo han sido las desarrolladas por García de Jalón et al. (1997; Figura 12).

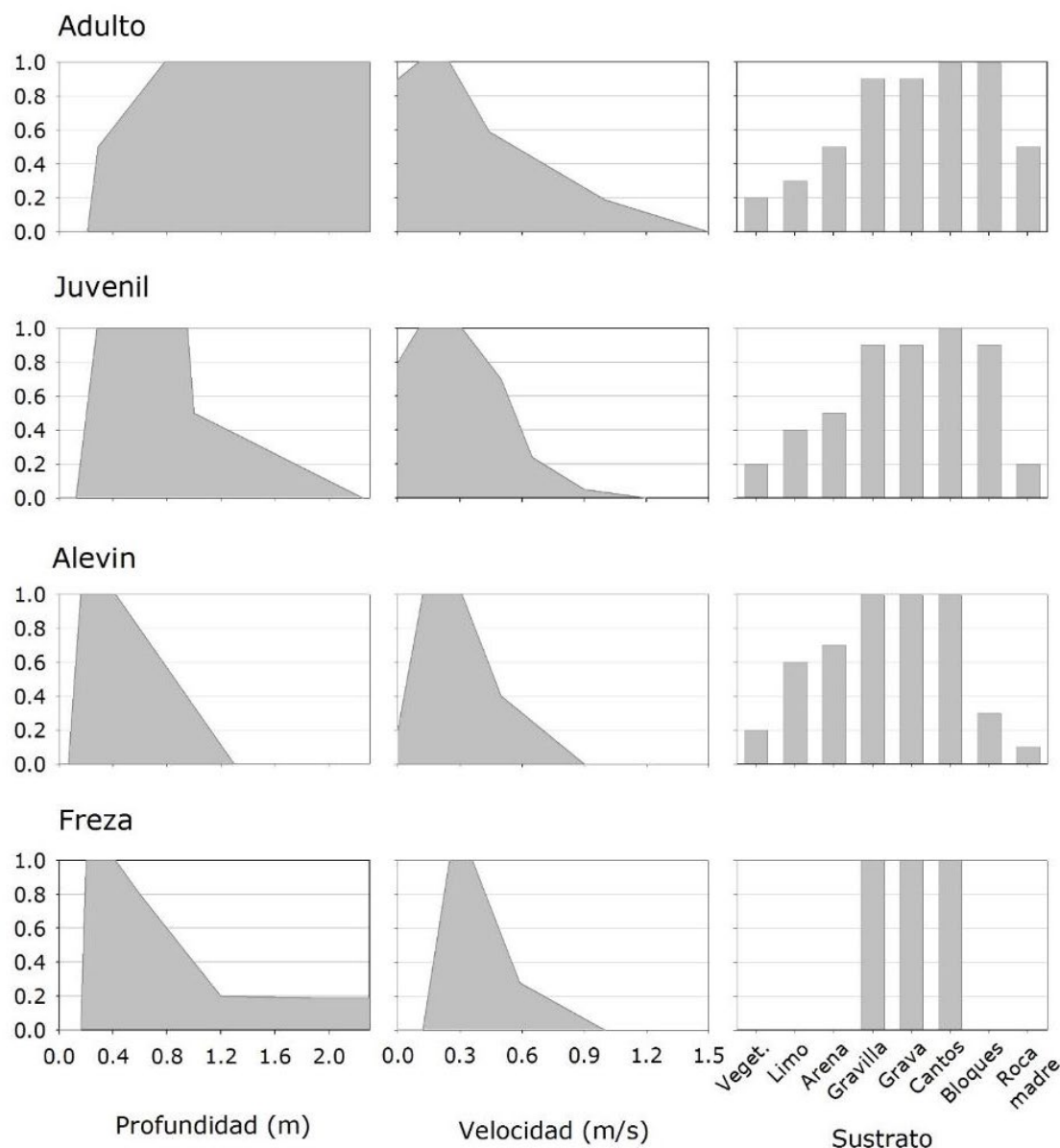


Figura 13: Datos de habitabilidad de los diferentes estadios de la trucha

Las curvas de preferencia que se han empleado en el presente trabajo son los correspondientes a los diferentes estadios (edades) de trucha común, es decir, adulto, juvenil y alevín. Además, se ha considerado las curvas de preferencia durante la época de reproducción (freza), ya que supone una época limitante para la subsistencia de la especie.

A la hora de poder calcular los caudales ecológicos mínimos en los diferentes ríos que se están analizando en este trabajo, hay que tener en cuenta los periodos biológicos de los diferentes estadios, puesto que no todos los estadios están presentes durante todo el año. Puesto que en el presente trabajo se está tratando de establecer caudales ecológicos mínimos para las diferentes estaciones del año, los periodos biológicos que se han establecido son los que aparecen en la siguiente tabla.



TRUCHA	INVIERNO			PRIMAVERA			VERANO			OTOÑO		
	EN	FB	MR	AB	MY	JU	JL	AG	SP	OC	NV	DC
ADULTO												
JUVENIL												
ALEVIN												
FREZA												

Tabla 2: Periodo biológico de los diferentes estadios

3.1.1.3.- RECOPILACIÓN DE SERIES DE CAUDAL NATURAL

Para la obtención de las series de caudal naturales de cada río, se ha utilizado un registro de datos mensuales que datan de octubre de 1980 hasta septiembre de 2006, desarrollados por el equipo de ecosistemas continentales del IH Cantabria. Las series de caudales mensuales modelados se obtuvieron mediante la integración de la aportación acumulada en las cuencas vertientes en cada tramo objetivo. Esta aportación acumulada fue obtenida mediante la aplicación del modelo SIMPA (Simulación Precipitación-Aportación; Estrela and Quintana, 1996), desarrollado y empleado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX para la evaluación de los recursos hídricos en régimen natural a escala nacional.

A partir de estas series se han obtenido los caudales máximos, medio y mínimos de toda la serie a escala mensual (Figura 14).

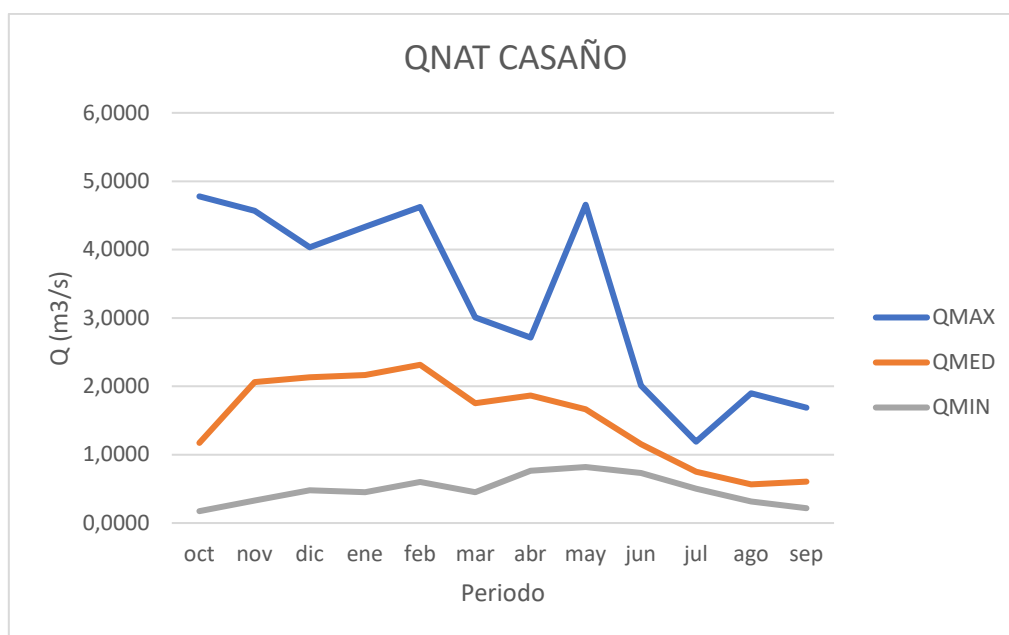


Figura 14: Serie de caudales en el río Casaño

Una vez obtenidos estos datos, lo que se ha hecho es calcular los caudales medios que se dan de manera natural por estaciones del año, puesto que tal y como se ha dicho anteriormente, el objetivo de este trabajo es calcular el caudal ecológico mínimo necesario en cada tramo de estudio para las diferentes estaciones del año (Figura 15).

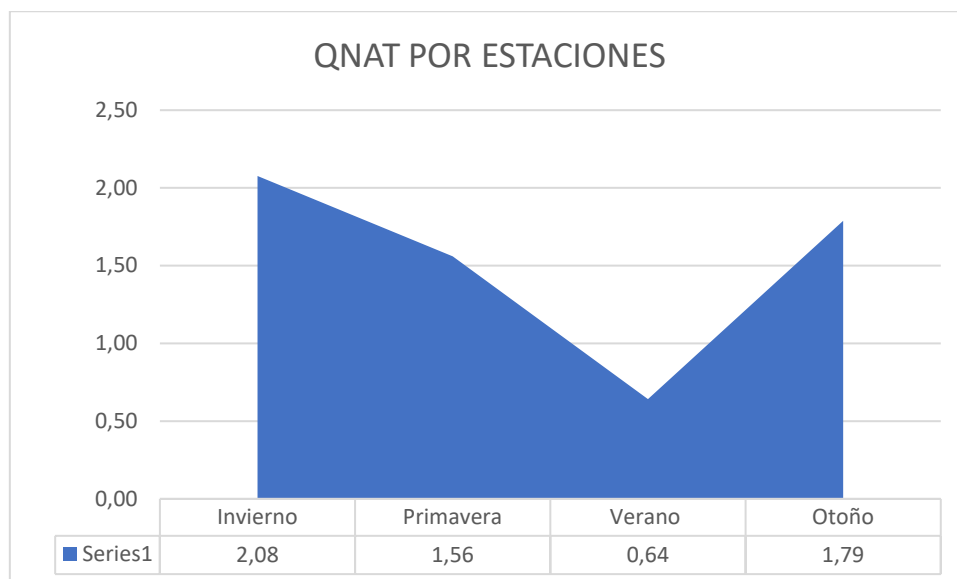


Figura 15: Caudal natural por estaciones en el río Casaño

3.1.1.4.- MODELOS DE HÁBITAT

Una vez obtenidos o recopilados los datos necesarios para la creación de los modelos hidráulicos y biológicos, y también habiendo recopilado el registro histórico de caudales, se procedió al cálculo del Hábitat Potencial Útil (HPU). Este parámetro nos proporciona la información de cuanto hábitat es utilizable por cada especie o estadio para un determinado caudal circulante en la red fluvial. En el presente trabajo, este parámetro lo vamos a encontrar en unidades de m^2/m porque es una ponderación del hábitat respecto a la longitud del tramo de estudio que se está realizando para cada caso.

A lo largo del presente trabajo, se analizará el hábitat en términos de porcentaje en función de la relación de HPU/HPU_{max} . Esto se ha realizado así puesto que esta relación nos proporciona información útil para poder comparar la habitabilidad entre especies o estadios y también porque permite establecer un caudal ecológico mínimo de acuerdo con el rango de habitabilidad que se establezca. Esto se representa en la siguiente imagen.

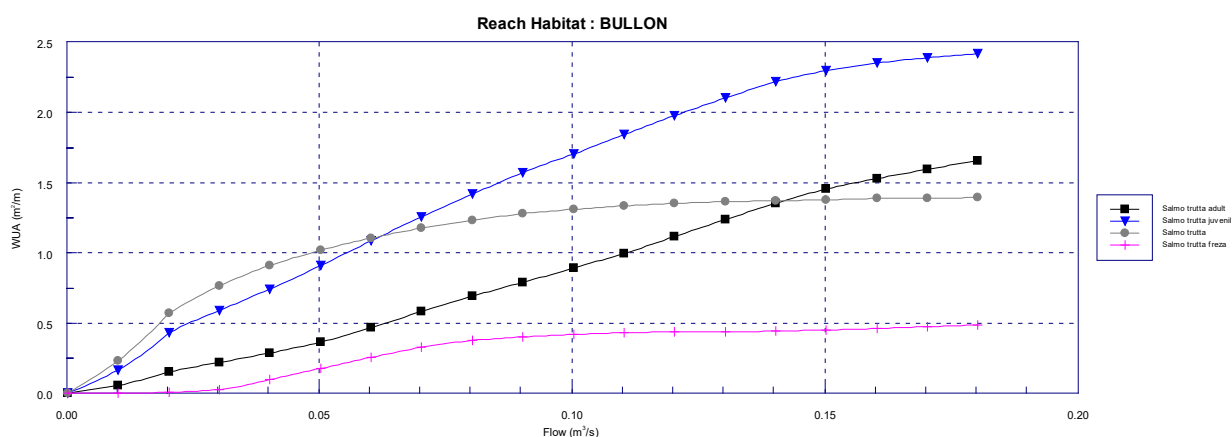


Figura 16: Curvas HPU-Caudal en el río Bullón



Para que se pueda ver la relación de HPU/HPU_{max} vs caudal, en la siguiente imagen se puede ver cómo es la relación en el río Bullón.

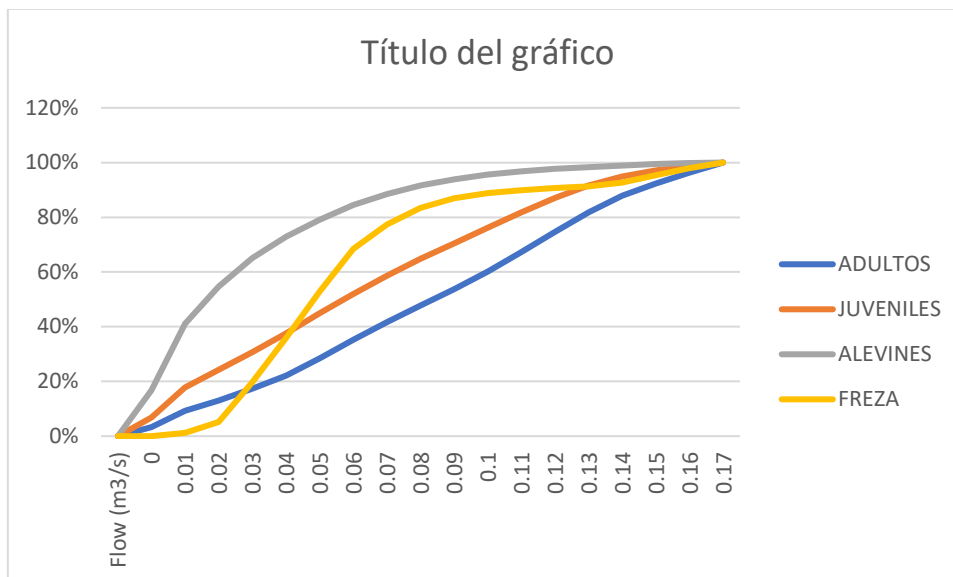


Figura 17: Curva Habitabilidad-Caudal en el río Bullón

3.1.1.5.- CRITERIOS Y CALCULO DE CAUDALES ECOLÓGICOS

Para poder establecer un régimen de caudales ecológicos mínimos en cada uno de los tramos de estudio, es necesario establecer un criterio aplicable sobre las curvas HPU_{max} -Caudal. Este criterio lo establece la legislación de planificación hidrológica (). En él se establece unos umbrales de HPU de entre 50-80%. Esto quiere decir que se debe de establecer un caudal ecológico mínimo que permita mantener un hábitat del 50%-80% como mínimo. Tal y como se puede ver, la legislación da un umbral abierto por el cual en este trabajo se ha decidido establecer el umbral más beneficioso para el hábitat de los peces puesto que se trata de un parque natural y es necesario mantener el mejor ecosistema posible. Es por ello por lo que el umbral que se ha establecido es del 80% del hábitat potencial útil.



4.- RESULTADOS

En los tramos de las redes fluviales que se han analizado en el presente trabajo, tal y como se ha mencionado anteriormente, el número de transectos varía entre 3 y 7 en función de las características de cada tramo de estudio. Para el desarrollo del modelo hidráulico, se han empleado los caudales que generaban alturas de lámina menores, es decir, se ha empleado los menores caudales. Una vez ingresado esos datos, los valores de la segunda campaña, correspondiente a caudales mayores, se han empleado para calibrar el modelo y ajustar las curvas de gasto.

A lo largo de este apartado se presentarán los resultados obtenidos en cada tramo de estudio, definiendo en ellos las características más importantes, como son los regímenes hidrológicos, los periodos hidrológicos y resultados relacionados con el hábitat.



4.1.- ANIEZO

El río Aniezo se encuentra dentro de la cuenca del Deva (Figura 5) y este está situado en la zona este de la misma. Se trata de un tramo de 26,45m de longitud que se encuentra a 740m de altitud. Durante la primera campaña se registró un caudal de 0,0047m³/s, profundidad media de 0,46m y velocidad media de 0,14m/s (Figura 18).

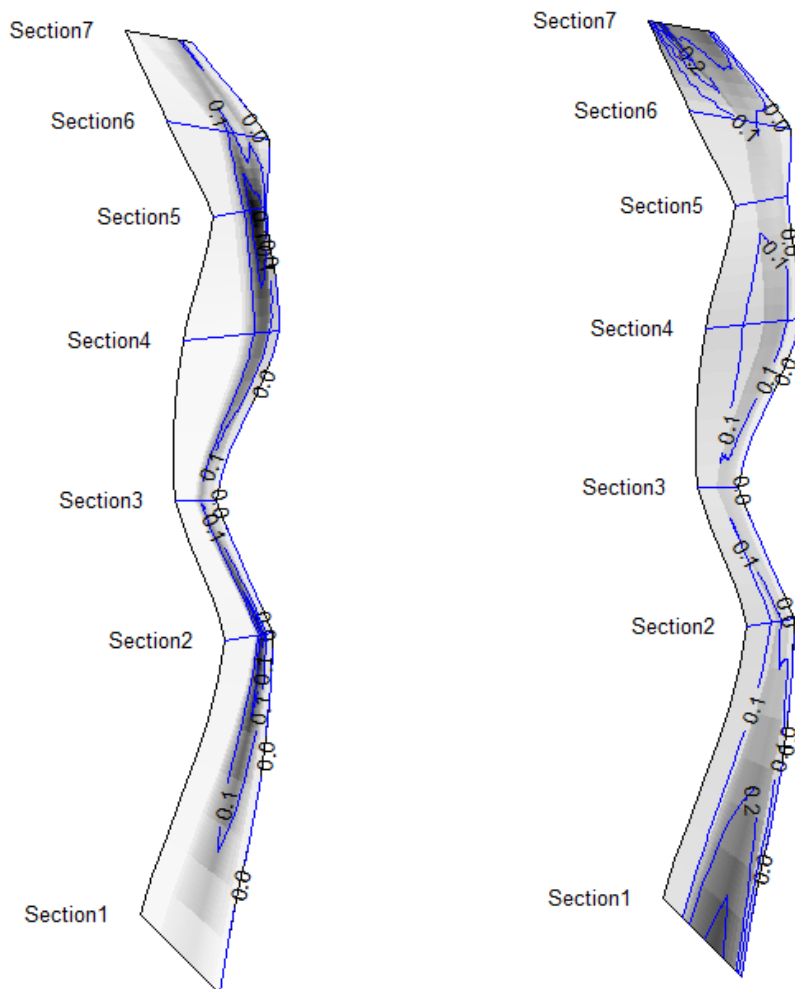


Figura 18: Distribución de profundidades y velocidades en tramos de estudio del Aniezo con $Q=0,0047 \text{ m}^3/\text{s}$

Durante la campaña correspondiente a caudales altos, el caudal medio registrado fue de 0,0396m³/s, con una profundidad media de 0,61m y una velocidad media de 0,46m/s (Figura 19).

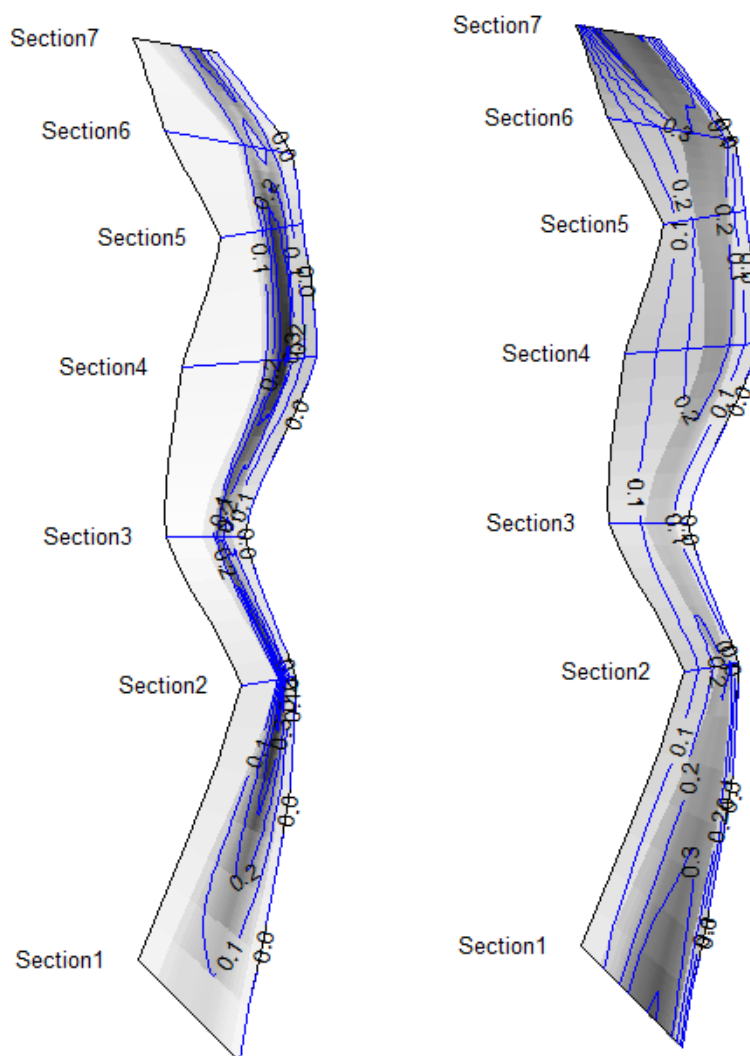


Figura 19: Distribución de profundidades y velocidades en tramos de estudio del Aniezo con $Q=0,0396\text{m}^3/\text{s}$

El sustrato del cauce este compuesto de un 40% roca, 50% de piedra y 10% grava.

El análisis de la serie de caudales naturales modelada mostró que el tramo objetivo del Aniezo muestra un caudal medio anual de $0,09\text{ m}^3/\text{s}$ en régimen natural. Debido a la localización del PNPE, los procesos de acumulación de nieve y deshielo son algo habitual y eso se ve reflejado en las fluctuaciones del caudal que presenta el río. Tal y como se ha venido comentando a lo largo de este trabajo, el análisis de los caudales ecológicos mínimos se va a hacer por estaciones del año. Siendo esto así, la variación de los caudales máximos, medios y mínimos en el Aniezo teniendo en cuenta los datos que se han tomado (1980-2006), es el siguiente.

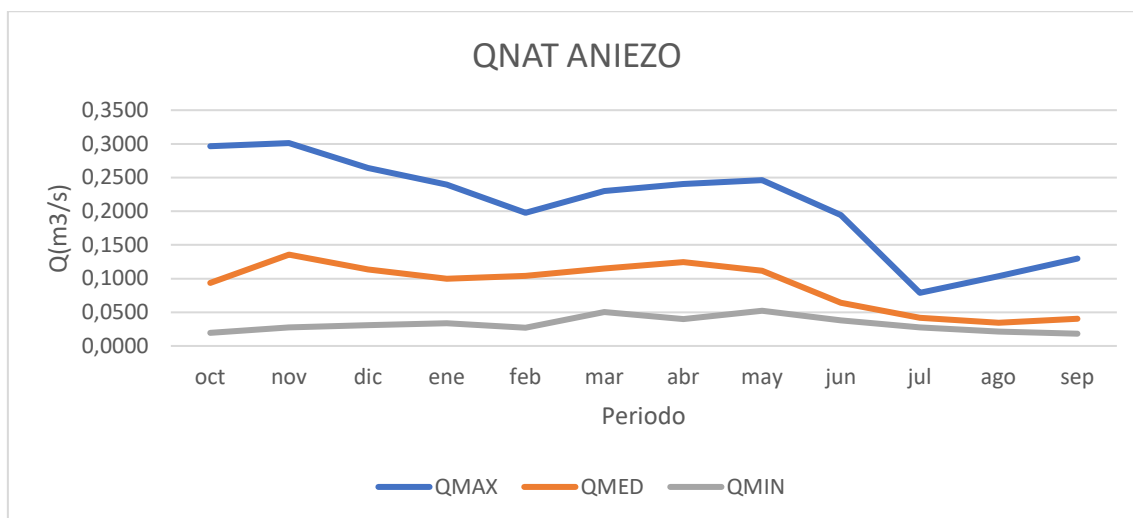


Figura 20: Caudal natural registrado en el Aniezo

Una vez ajustado el modelo hidráulico en el tramo del Aniezo se combinó con los modelos biológicos (curvas de preferencia) para obtener las curvas HPU-caudal de cada estación de año (Figura 21).

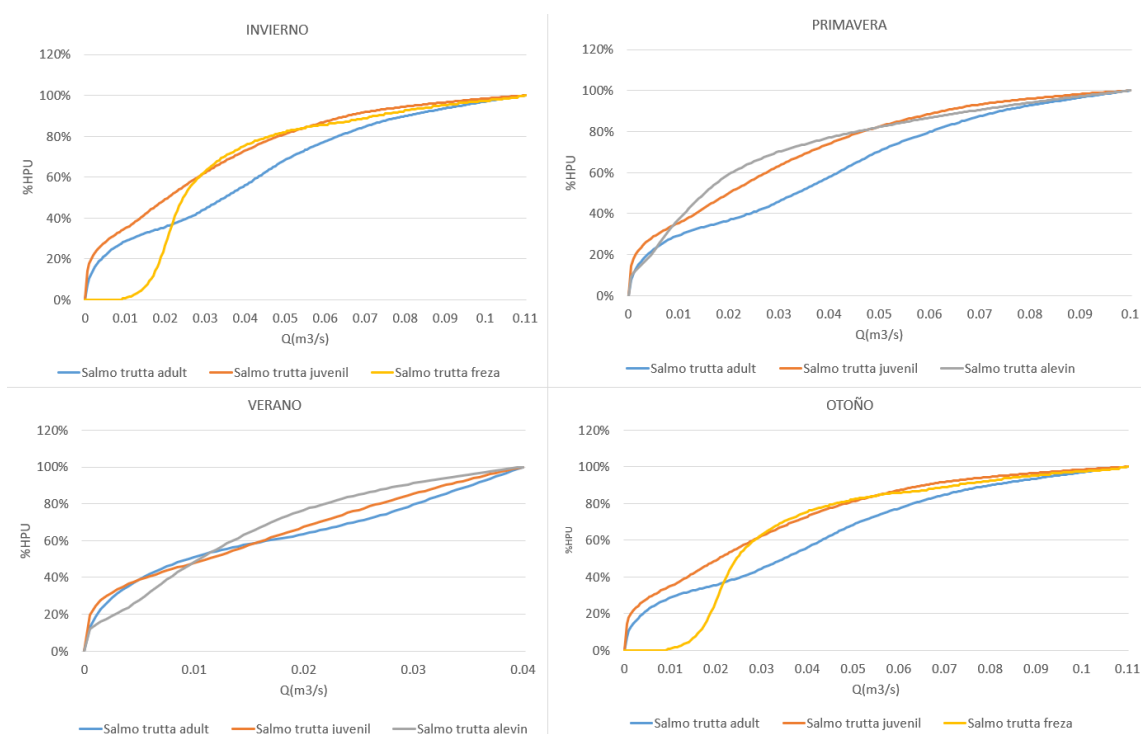


Figura 21: Curvas HPU-Caudal

Tal y como se puede apreciar en las imágenes expuestas anteriormente, vemos que el estadio más limitante es el adulto. Este estadio es el que marca el caudal ecológico para propiciar una cantidad de hábitat adecuado, cuando se utiliza un umbral de cálculo del 80% respecto al HPU_{max} .

En las curvas $\%HPU_{max}$ vs caudal, se puede apreciar como en las estaciones de otoño-invierno, con caudales muy bajos impiden que la freza se produzca de manera adecuada, pero a partir de



0,006m³/s, el crecimiento del hábitat sigue una función exponencial hasta que alcanza un punto de inflexión a partir del cual sufre el mismo crecimiento que la trucha juvenil, siendo el caudal de inflexión 0,026m³/s.

Respecto a la trucha juvenil, se puede observar como al principio tiene un crecimiento de hábitat importante con valores muy pequeños de caudal y luego tiende a reducir el crecimiento a partir de 0,003m³/s.

El régimen de caudales ecológicos que se han obtenido representa el siguiente porcentaje del caudal natural (Figura 22).

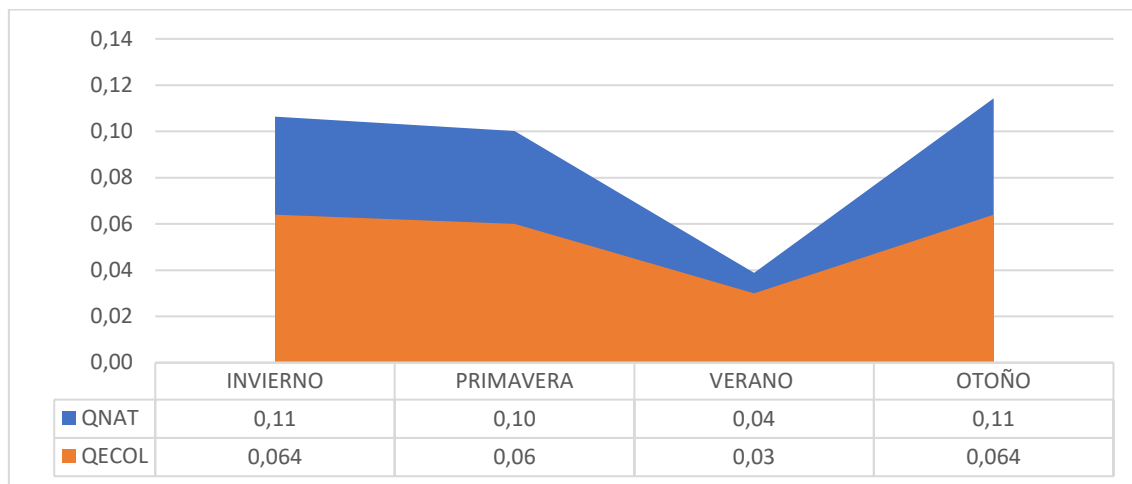


Figura 22: Régimen de caudales ecológicos mínimos en el Aniezo

Estos caudales ecológicos que se han calculado representan los siguientes porcentajes respecto al caudal natural circulante en el río.

ANIEZO	QNATURAL	QECOL	%QECOL/QNAT
INVIERNO	0.11	0.064	60%
PRIMAVERA	0.10	0.06	60%
VERANO	0.04	0.03	77%
OTOÑO	0.11	0.064	56%

Tabla 3: Representación del caudal ecológico obtenido respecto al natural en el río Aniezo



4.2.- BULLÓN

El río bullón se encuentra dentro de la Cuenca del Deva. Se trata de un tramo de 31,9 m de longitud que se encuentra a 810 m de altitud. Durante la campaña de caudales mínimos, el caudal que se registró es de $0,0191 \text{ m}^3/\text{s}$ dándose así profundidades medias de 0,15m y velocidades medias de 0,14m/s (Figura 23).

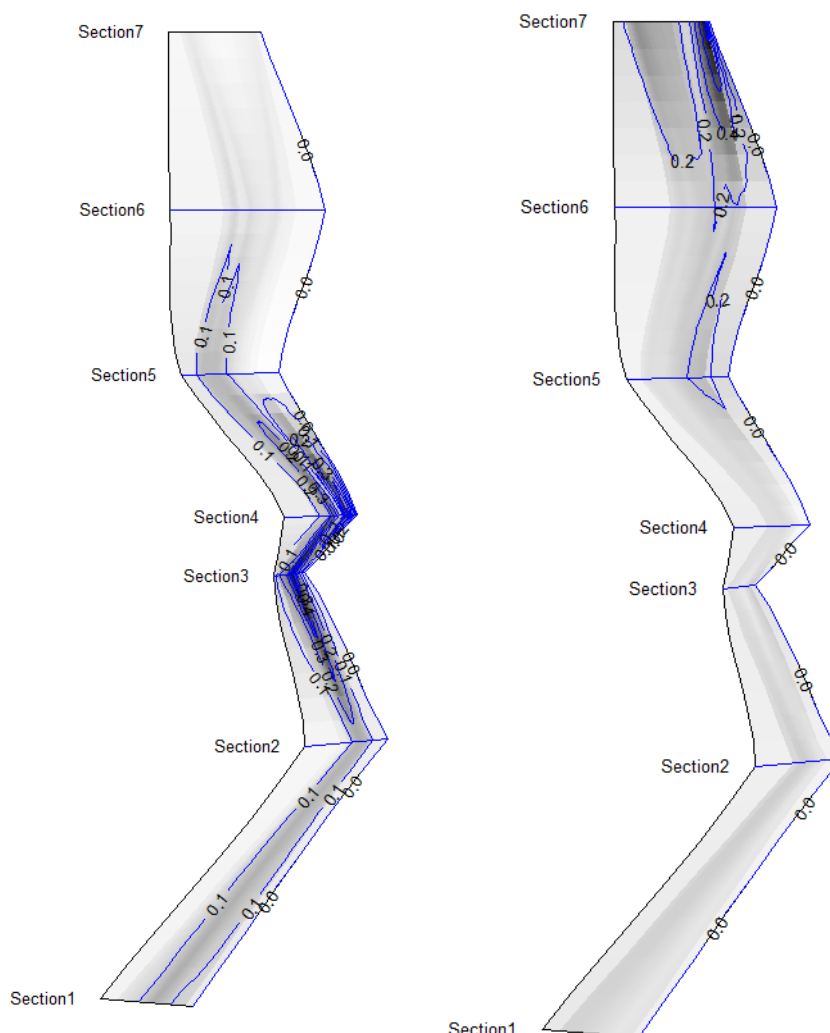


Figura 23: Distribución de profundidades y velocidades para $Q=0,0191 \text{ m}^3/\text{s}$:

En el caso del río Bullón, no fue posible obtener datos durante condiciones de caudales mayores a los de la campaña de estiaje. Por ello, la curva de gasto y el modelo hidráulico se han ajustado mediante fórmulas estándar y más simplificadas que en los otros casos, ofrecidas en el software RHYHABSIM

El sustrato del cauce está compuesto de un 30% de roca, 60% de piedra y 10% de grava.

El bullón muestra un caudal medio anual de $0,165 \text{ m}^3/\text{s}$ en régimen natural. Al igual que en el caso del Aniezo, al estar a 810 m de altitud, las condiciones de nieve y de hielo también afectan a los caudales registrados en diferentes épocas del año. La variación de los caudales máximos medios y mínimos en el río bullón con el registro de datos que tenemos ha sido el siguiente.

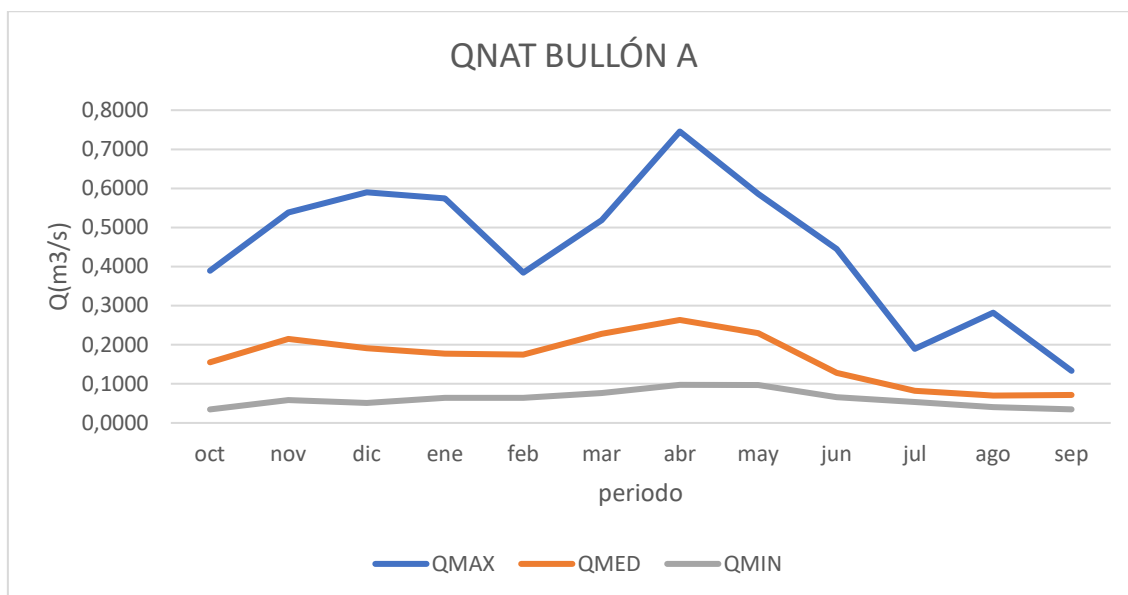


Figura 24: Régimen de caudal natural en el Bullón

Teniendo en cuenta el hábitat potencial útil de los mismos estadios que hemos analizado en el Aniezo y resto de tramos, tal y como se ha dicho anteriormente, las curvas %HPU_{max}-Caudal han sido los siguientes.

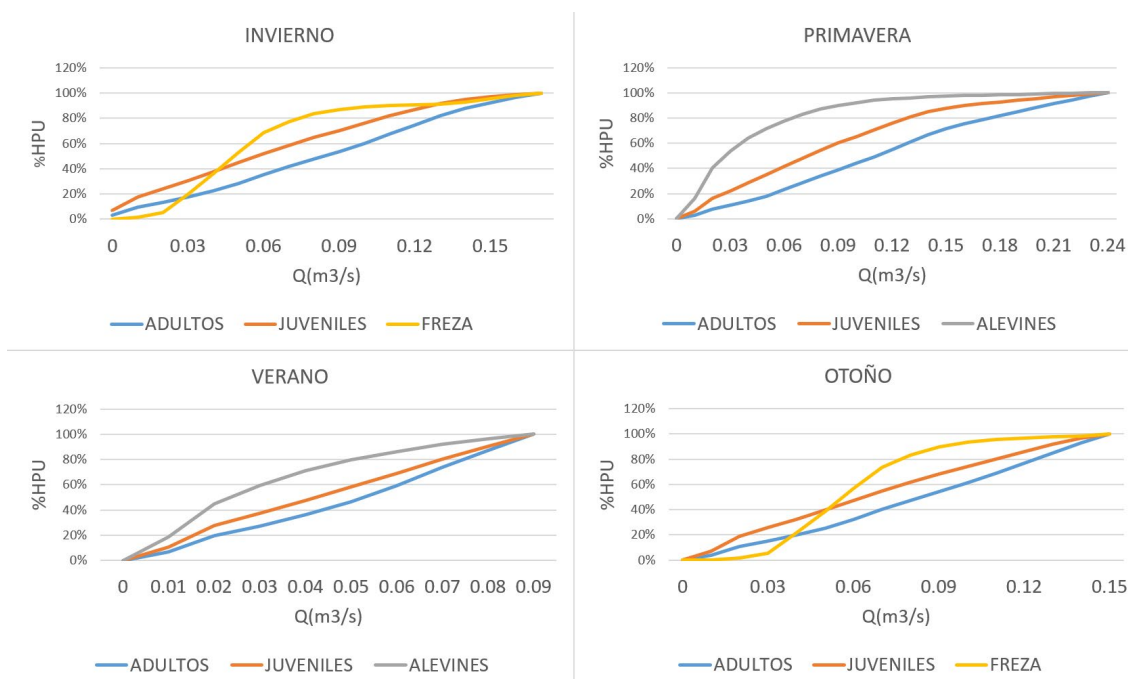


Figura 25: Curvas HPU-Caudal para los diferentes estadios en el Bullón

En todos los casos el estadio limitante, es decir, aquel que necesita un mayor caudal para mantener el 80% de su HPU_{max} y, por tanto, aquel que marca los valores de los caudales ecológicos estacionales fue la trucha adulta. En las imágenes podemos observar que el crecimiento de las curvas %HPU-Caudal obtenidas para la trucha adulta y juvenil sigue una ley lineal. La curva que sufre mayores cambios es la freza. En esta curva podemos observar que,



para los caudales más bajos considerados en la simulación, el hábitat disponible para la freza es prácticamente nulo hasta llegar al punto de 0,02 m³/s. A partir de ese caudal, el hábitat disponible para la freza crece de forma lineal con una pendiente superior a la de los dos adultos y juveniles. Llega un momento en el que la curva tiene un punto de inflexión a la altura de 0,06 m³/s, al partir del cual la curva empieza a estabilizarse hasta conseguir su máximo correspondiendo al punto de caudal máximo. En el caso de la trucha alevín, se puede apreciar, durante las épocas de primavera y verano, que para caudales bajos el hábitat que tiene este estadio es bastante superior a las demás. El crecimiento de la curva es mayor en la fase inicial, hasta alcanzar el caudal de 0,01 m³ por segundo. a partir de ese momento, la curva sigue aumentando hasta llegar a su punto máximo, también correspondiente al punto de caudal máximo, pero de una manera más tendida.

Con estos datos que se han mencionado anteriormente, el régimen de caudales ecológicos que se obtiene para el río bullón es el siguiente.

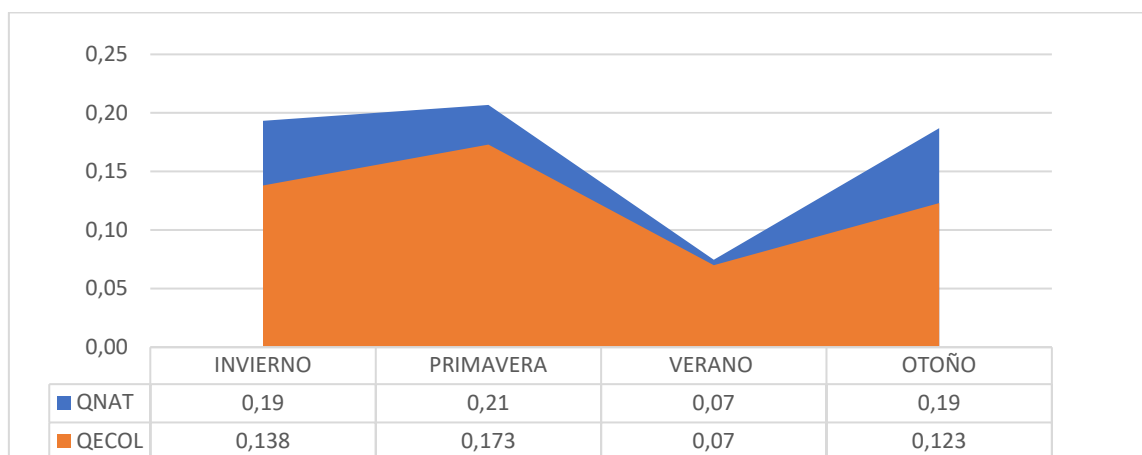


Figura 26: Régimen de caudales ecológicos mínimos en el Bullón

Estos caudales ecológicos que se han calculado representan los siguientes porcentajes respecto al caudal natural circulante en el río.

BULLON	QNATURAL	QECOL	%QECOL/QNAT
INVIERNO	0.19	0.138	71%
PRIMAVERA	0.21	0.173	84%
VERANO	0.07	0.07	94%
OTOÑO	0.19	0.123	66%

Tabla 4: Representación del caudal ecológico respecto al natural en el río Bullón



4.3.- CASAÑO

El río Casaño se encuentra dentro de la Cuenca del CARES (Figura 5). El tramo que se ha analizado en este trabajo tiene una longitud de 42,35 m y está situado a una altitud de 174 m. Esta altitud se debe a que el río Casaño se encuentra en la parte norte del parque la cual se sitúa más cerca del Cantábrico y es por ello por lo que tiene una mayor cuenca drenante. Esto lo convierte en uno de los ríos más grandes del estudio puesto que el caudal medio que se registra en este río es superior al resto tramos analizados. Durante la campaña de caudales mínimos el caudal que se registró es de $0,321 \text{ m}^3/\text{s}$, dándose profundidades medias de $0,28 \text{ m}$ y velocidades medias de $0,33 \text{ m/s}$ (Figura 27).

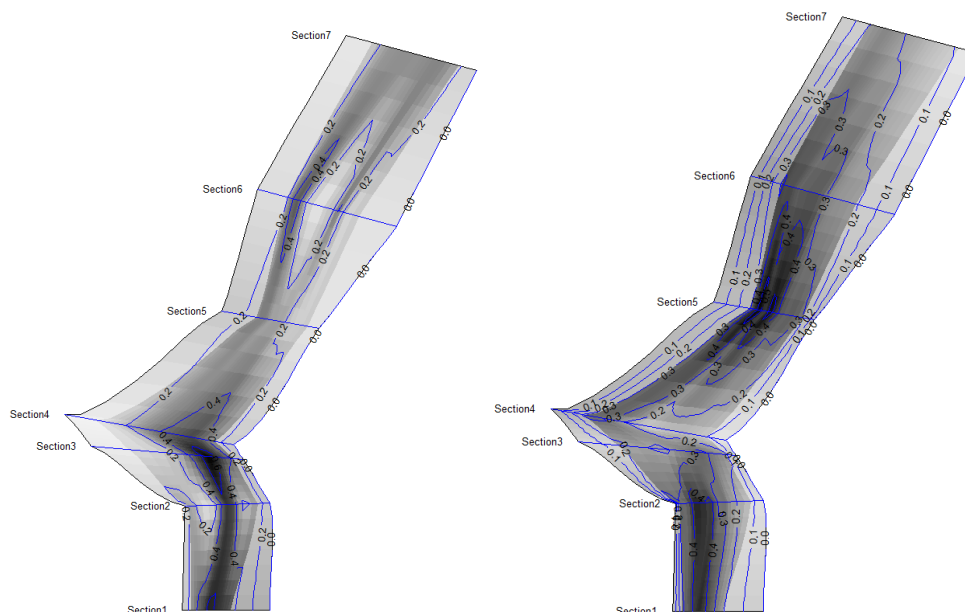


Figura 27: Distribución de profundidades y velocidades en el Casaño para $Q=0,321 \text{ m}^3/\text{s}$

Durante la segunda campaña, correspondiente a caudales mayores, el caudal medio registrado fue de $2,04 \text{ m}^3/\text{s}$, una profundidad media de $0,51 \text{ m}$ y una velocidad media de $0,92 \text{ m/s}$ (Figura 28).

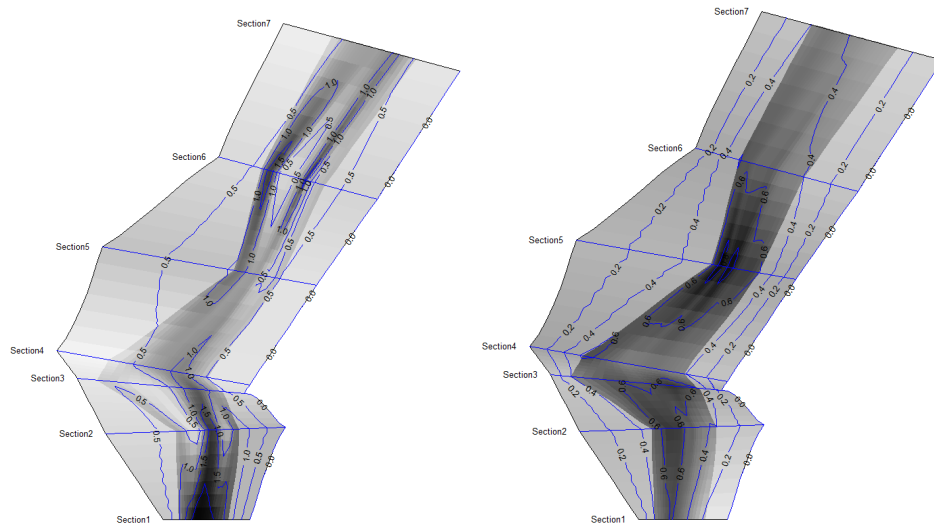


Figura 28: Distribución de profundidades y velocidades el Casaño para $Q=2,04\text{m}^3/\text{s}$

El sustrato del cauce está compuesto de un 6% de roca madre, 65% de roca y 29% de piedra.

El rio Casaño muestra un caudal medio anual de $1,517\text{ m}^3/\text{s}$ en régimen natural. Al tener una cuenca drenante mayor que el resto, la fluctuación del caudal en este tramo es mayor.

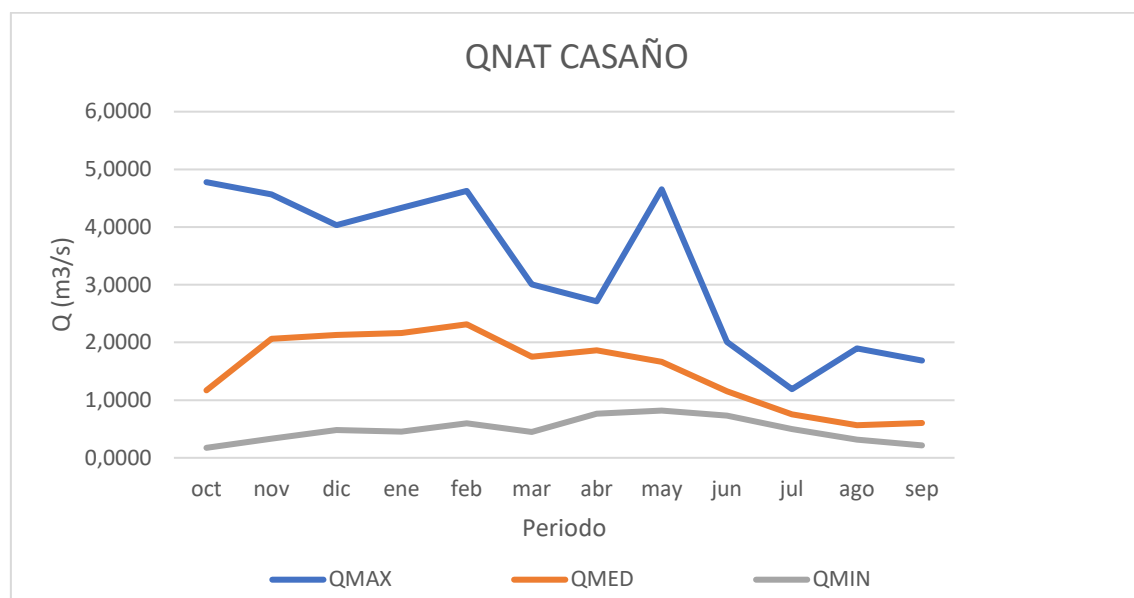


Figura 29: Régimen de caudales naturales en el Casaño

En referencia a las curvas que nos comparan el HPU de los diferentes estadios con los caudales que se han medido y simulador han sido los siguientes.

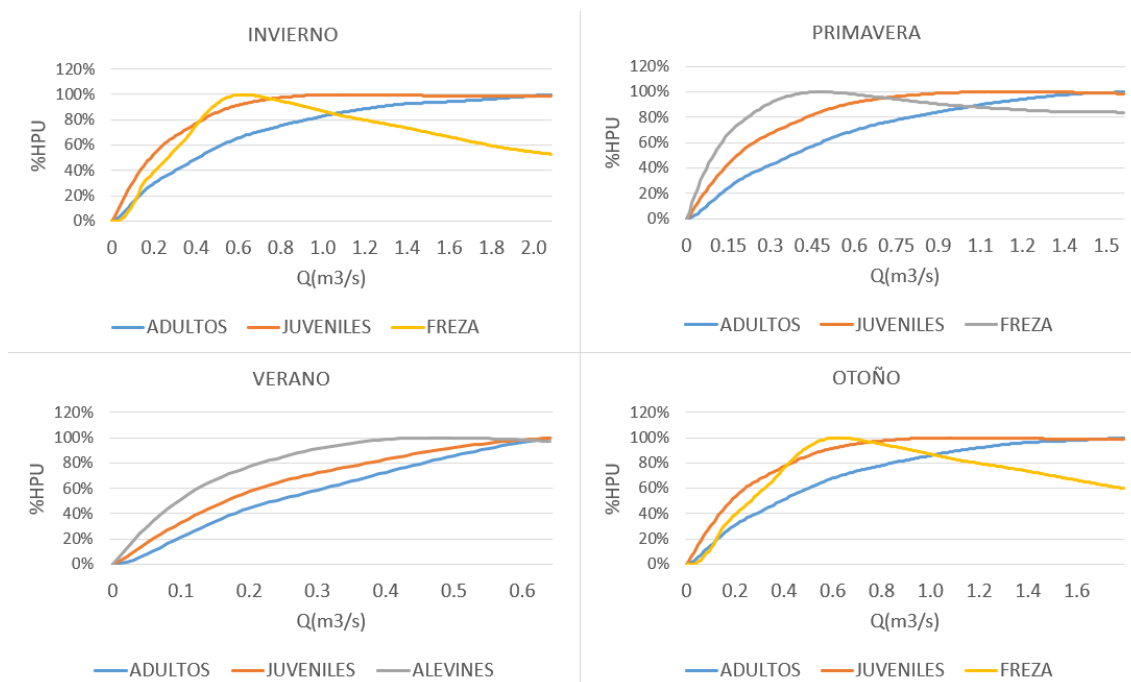


Figura 30: Curvas HPU-Caudal para los diferentes estadios en el Casaño

En estas curvas podemos apreciar que, una vez más, el estadio que nos limita el caudal ecológico es la trucha adulta. En general podemos observar que el crecimiento de las curvas en las diferentes estaciones del año es muy similar, exceptuando el caso de verano. En verano, las curvas presentan un aumento lineal y no un aumento con un límite superior (asintótico) como es el caso del resto de las estaciones. También podemos apreciar que, en el caso de la trucha adulta juvenil y alevín, las curvas tienden a alcanzar su máximo de HPU con los caudales modelados más altos en verano. En el caso de la freza, se puede ver que, con caudales bajos, el hábitat crece de una manera más pronunciada que en el resto de los estadios y esto lleva a que alcance el HPU_{max} antes que el resto. Se puede ver que una vez alcanza el máximo, el hábitat del estadio empieza a decaer conforme va aumentando el caudal en el río.

Teniendo en cuenta los aspectos que se han comentado anteriormente, el régimen de caudales ecológicos que se ha establecido en este río es el siguiente.

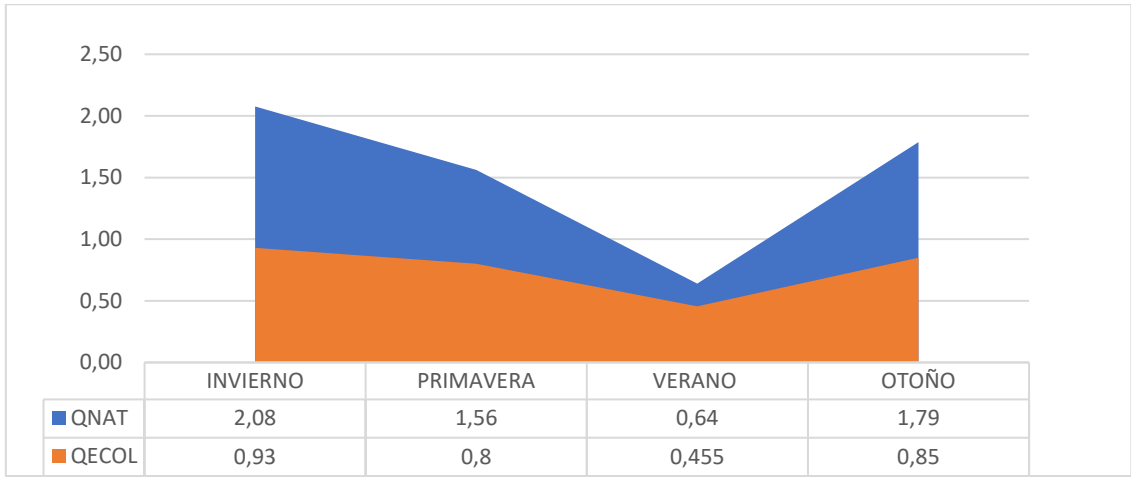


Figura 311: Régimen de caudales ecológicos mínimos en el río Casaño

Estos caudales ecológicos que se han calculado representan los siguientes porcentajes respecto al caudal natural circulante en el río.

CASAÑO	QNATURAL	QECOL	%QECOL/QNAT
INVIERNO	2.08	0.93	45%
PRIMAVERA	1.56	0.8	51%
VERANO	0.64	0.455	71%
OTOÑO	1.79	0.85	48%

Tabla 5: Representación del caudal ecológico frente al natural en el río Casaño



4.4.-DEVA

El tramo analizado en el Deva es correspondiente a la cuenca del Deva. El tramo analizado en este río consta de una longitud de 58,39 m y está localizado a una altitud de 364 m. El caudal medio que se registró en la primera campaña fue de $0,319 \text{ m}^3/\text{s}$ dándose así una profundidad media de 0,34 m y velocidad media de 0,3 m/s (Figura 32).

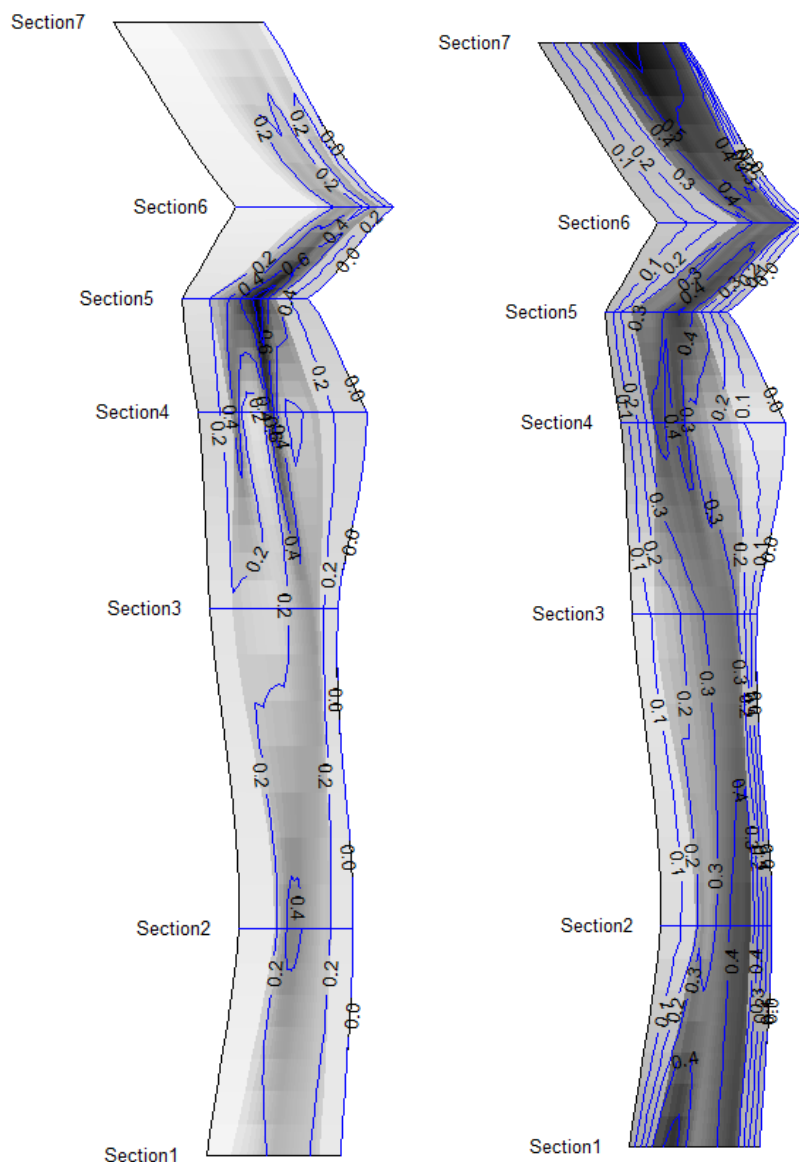


Figura 32: Distribución de profundidades y velocidades en el río Deva para $Q=0,319 \text{ m}^3/\text{s}$

Durante la segunda campaña, el caudal medio registrado fue de $1,554 \text{ m}^3/\text{s}$ dándose así una profundidad media de 0,56m y una velocidad media de 0,73m/s (Figura 33).

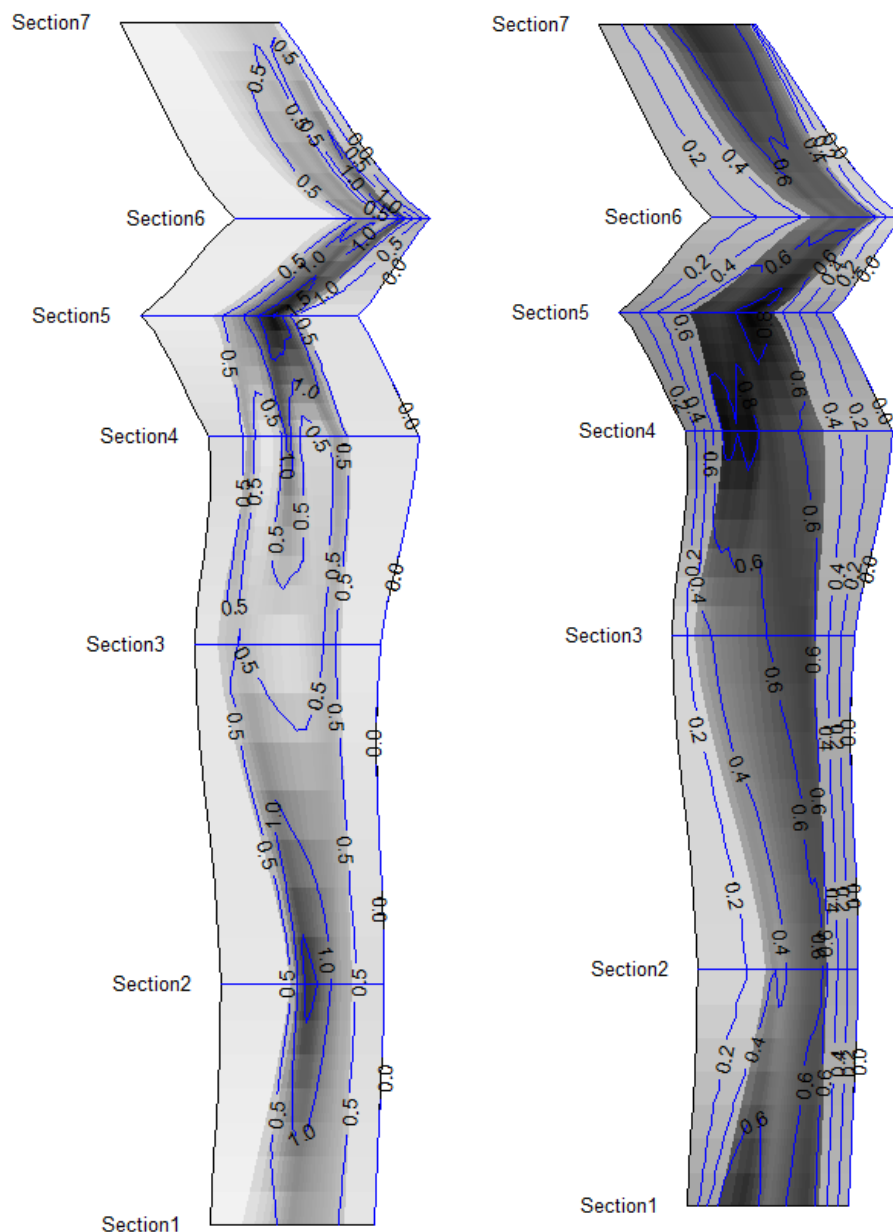


Figura 33: Distribución de profundidades y velocidades en el río Deva para $Q=1,554 \text{ m}^3/\text{s}$

El sustrato del cauce está compuesto de un 70% de roca y un 30% de piedra.

El Deva muestra un caudal medio anual de $3,207 \text{ m}^3/\text{s}$ en régimen natural. Los caudales naturales máximos, medios y mínimos de los que se tiene registro durante la época en la que estamos analizando los diferentes ríos, son los siguientes.

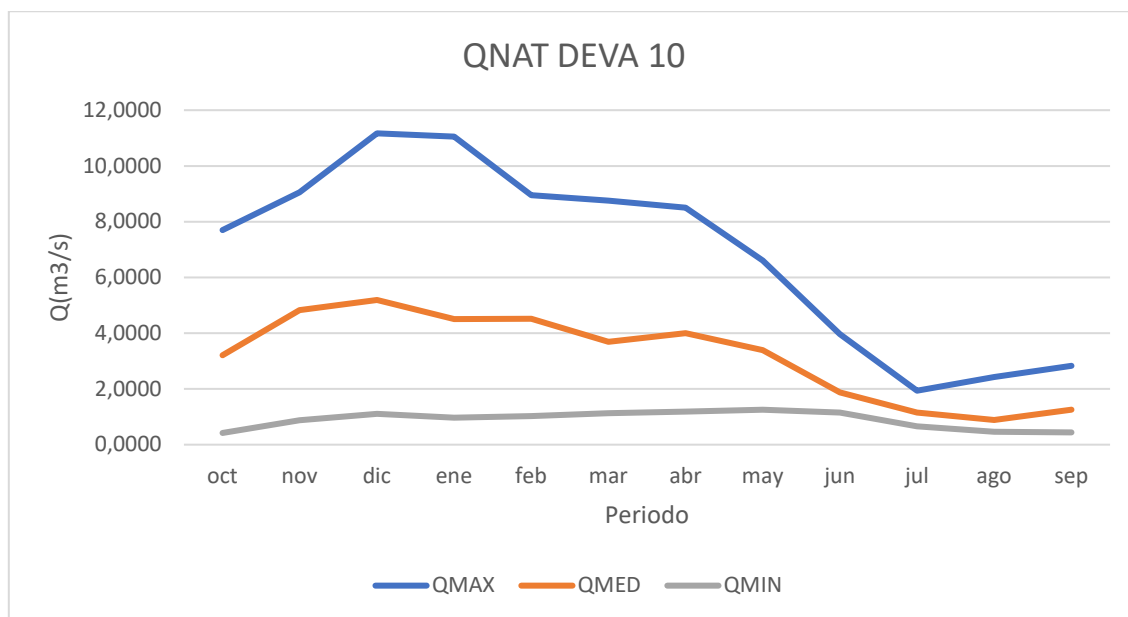


Figura 34: Régimen de caudales naturales en el Deva

Las curvas HPU_{max} vs Caudal que se han podido obtener para este tramo de estudio son las que aparecen a continuación.

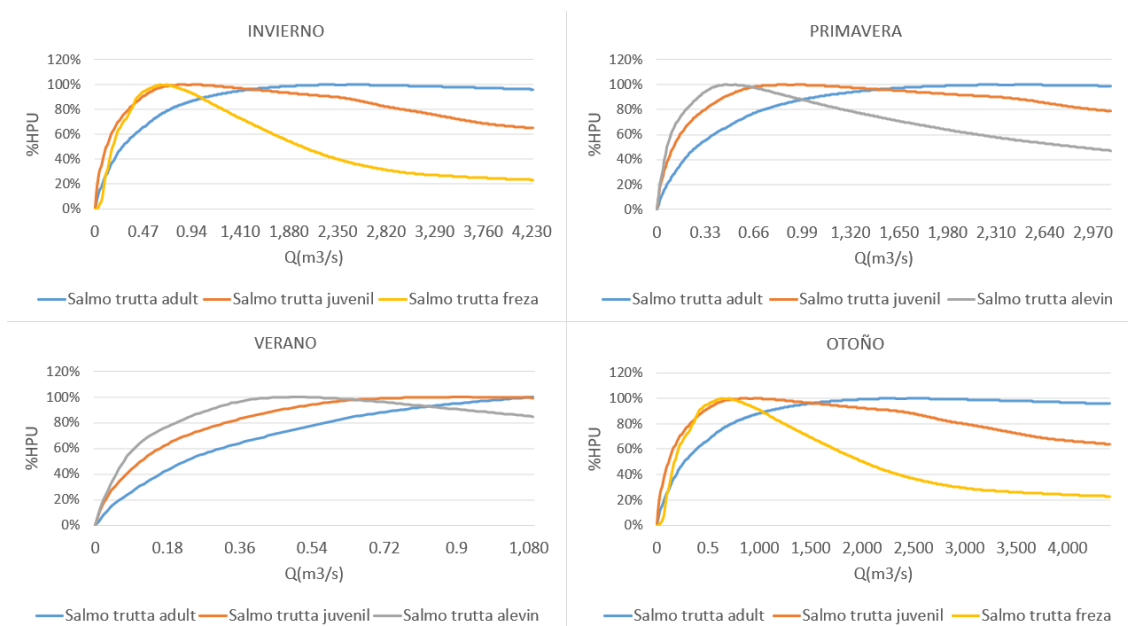


Figura 2: Curvas HPU-Caudal para los diferentes estadios en el Deva

En estas curvas podemos apreciar otra vez que el estadio limitante es la trucha adulta. Las curvas obtenidas para los alevines y la freza tienen un crecimiento muy similar en la parte inicial, es decir, con caudales bajos. Sin embargo, tras alcanzar el HPU_{max} , el $\%HPU/HPU_{max}$ de la freza decrece más rápido que en el caso de los juveniles.

Con las características que se han mencionado anteriormente, el régimen de caudales ecológicos mínimos que se ha decidido establecer para este río es el siguiente.

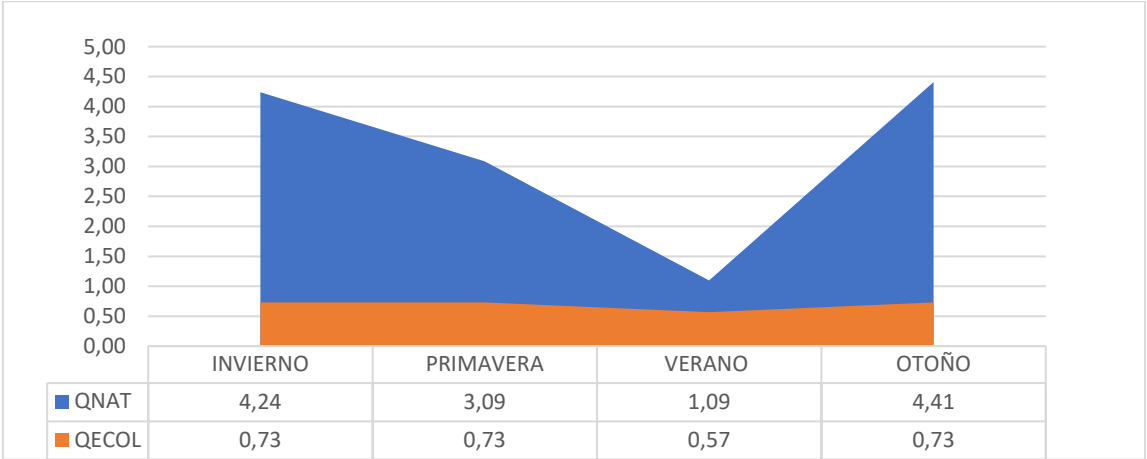


Figura 3: Régimen de caudales ecológicos mínimos en el río Deva

Estos caudales ecológicos que se han calculado representan los siguientes porcentajes respecto al caudal natural circulante en el río.

DEVA 10	QNATURAL	QECOL	%QECOL/QNAT
INVIERNO	4.24	0.73	17%
PRIMAVERA	3.09	0.73	24%
VERANO	1.09	0.57	52%
OTOÑO	4.41	0.73	17%

Tabla 6:Representación del caudal ecológico frente al natural en el río Deva



4.5.- DUJE

El río Dujé se sitúa en el límite norte del PNPE, correspondiente a la cuenca del Cares. El tramo de estudio consta de una longitud de 47,63 m y se encuentra a una altitud de 190 m. El caudal medio registrado durante la primera campaña es de 0,287 m³ por segundo dándose así una profundidad media de 0,38m y una velocidad media de 0,19m/s (Figura 37).

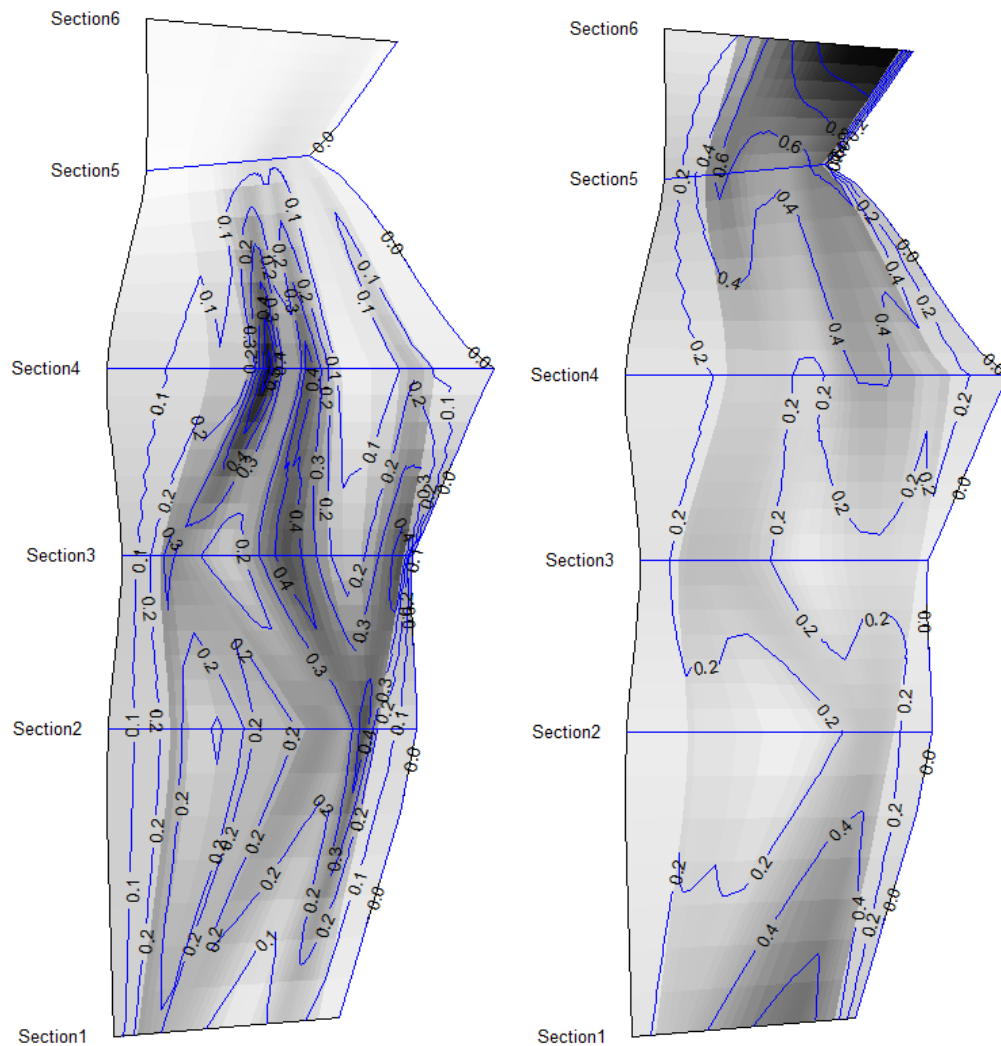


Figura 374: Representación de profundidades y velocidades en el río Dujé para $Q=0,287\text{m}^3/\text{s}$

Durante la segunda campaña, el caudal medio registrado es de 0,7521 m³/s dándose así una profundidad media de 0,55m y una velocidad media de 0,24m/s (Figura 38).

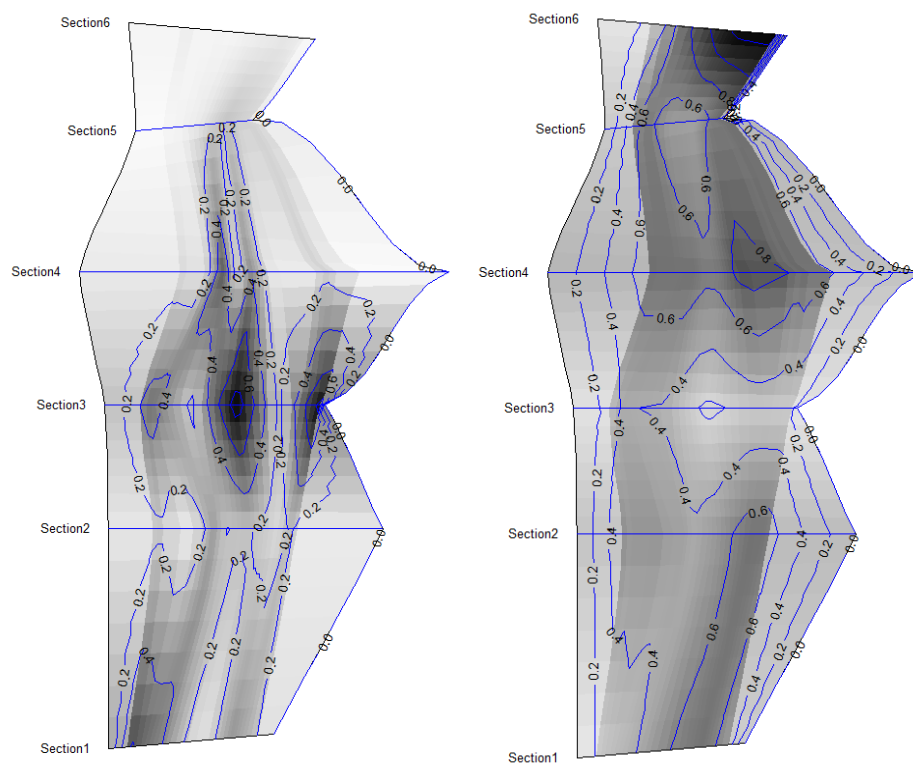


Figura 38: Distribución de profundidades y velocidades en el río Duje para $Q=0,7521\text{m}^3/\text{s}$

El sustrato del cauce está compuesto de un 60% roca, 25% de piedra y 15% de grava.

El río Duje muestra un caudal medio anual de $0,617\text{ m}^3/\text{s}$ en régimen natural. La evolución de los caudales naturales que se ha dado en este río es el siguiente.

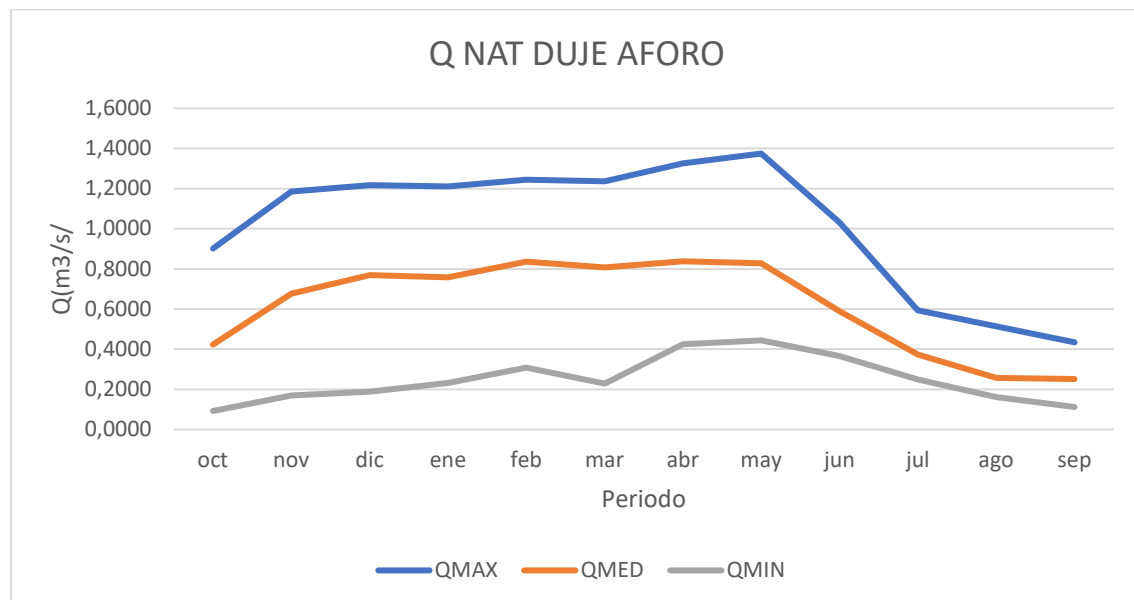


Figura 39: Régimen de caudal natural en el Duje

Las curvas que nos muestran la evolución de la vida potencial útil existente en el río para los diferentes caudales simulados son los siguientes.

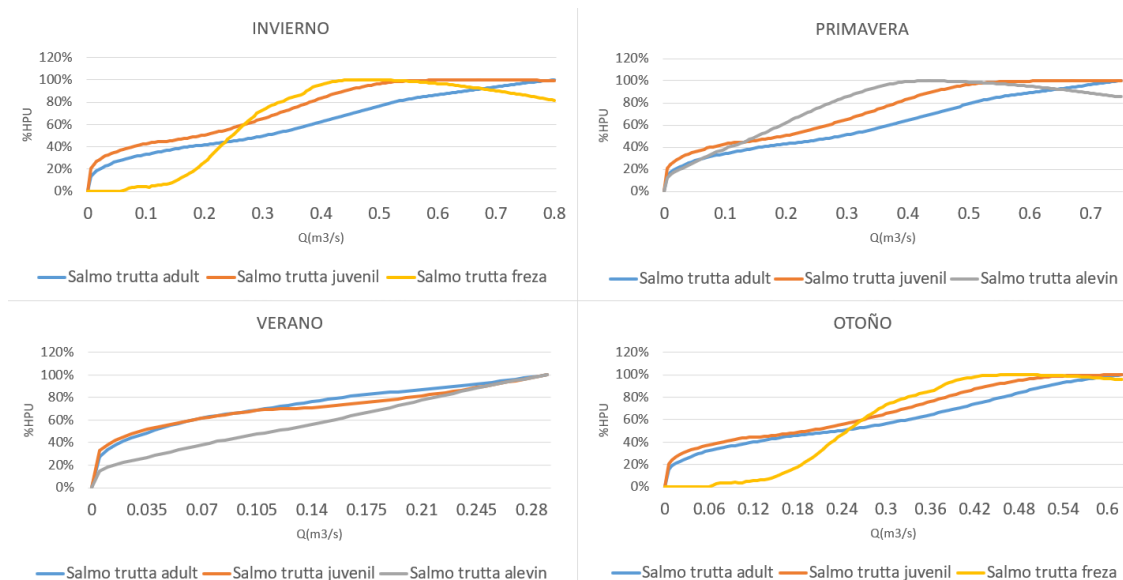


Figura 40: Curvas HPU-Caudal en el Duje

El análisis de las curvas $\%HPU/HPU_{max}$ en el río Deva ha puesto en evidencia la peculiaridad de la curva correspondiente a la freza (invierno y otoño). Mientras que el resto de las curvas (adultos y juveniles) mantiene un crecimiento estable y continuado para el rango de caudales modelados, las curvas de la freza no siguen esta misma tendencia. Lo que ocurre con este estadio es que para los caudales bajos el HPU es prácticamente nulo pero una vez se alcanza un caudal de $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$, el hábitat HPU empieza a crecer de una manera más notable que en el resto de los casos. Se puede ver también, que, aunque sufra un crecimiento menor al principio, es el estadio que antes alcanza su máximo y para el caso de la estación otoñal, mantener el HPU cercano al HPU_{max} hasta alcanzar el máximo caudal simulado., No es así para el caso de la estación invernal. para el caso de la trucha adulta y juvenil, se puede apreciar que las curvas de crecimiento son muy similares con la única diferencia de que los valores más altos los alcanza antes la trucha juvenil. de esta manera podemos observar cómo una vez más, el estadio es limitante en la mayor parte del año es la trucha adulta. el único caso que difiere de lo que se ha comentado anteriormente es la época de verano, en el cual, el estadio limitante es la trucha alevín.

Con los aspectos que se han podido observar anteriormente, el régimen de caudales ecológicos que se ha establecido para el río Duje es el siguiente.

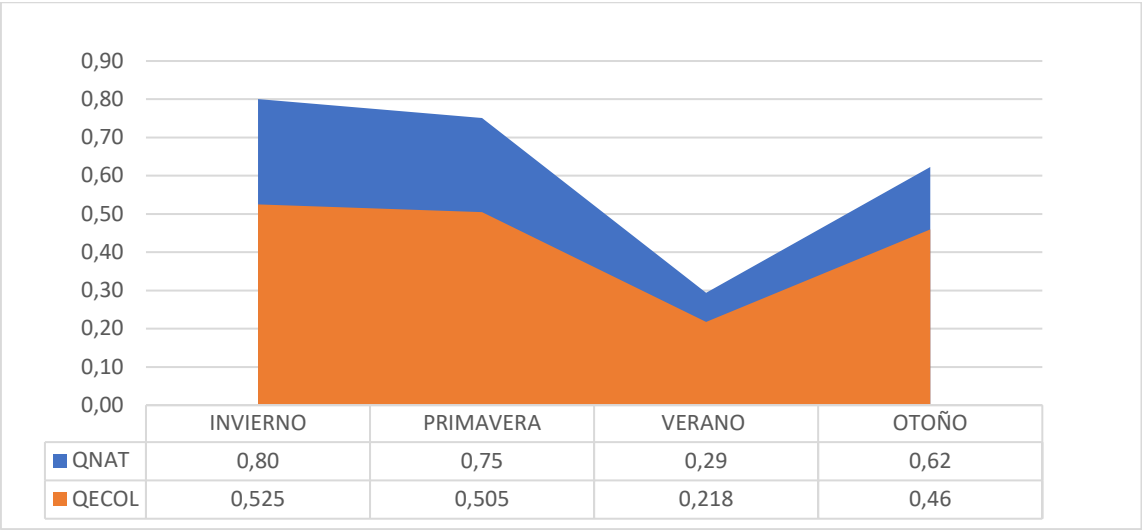


Figura 5: Régimen de caudales ecológicos mínimos en el río Duje

Estos caudales ecológicos que se han calculado representan los siguientes porcentajes respecto al caudal natural circulante en el río.

DUJE AFORO	QNATURAL	QECOL	%QECOL/QNAT
INVIERNO	0.80	0.525	66%
PRIMAVERA	0.75	0.505	67%
VERANO	0.29	0.218	74%
OTOÑO	0.62	0.46	74%

Tabla 7:Representación del caudal ecológico frente al natural en el río Duje



4.6.- ARENAL

El río Arenal es perteneciente a la Cuenca del Cares y el tramo de estudio para este río tiene una longitud de 27,6 m y una altitud de 745 m respecto al nivel del mar. Durante la primera campaña, el caudal medio que se registró fue de 0,296 m³ por segundo dándose así una profundidad media de 0,35m y una velocidad media de 0,38m/s (Figura 42).

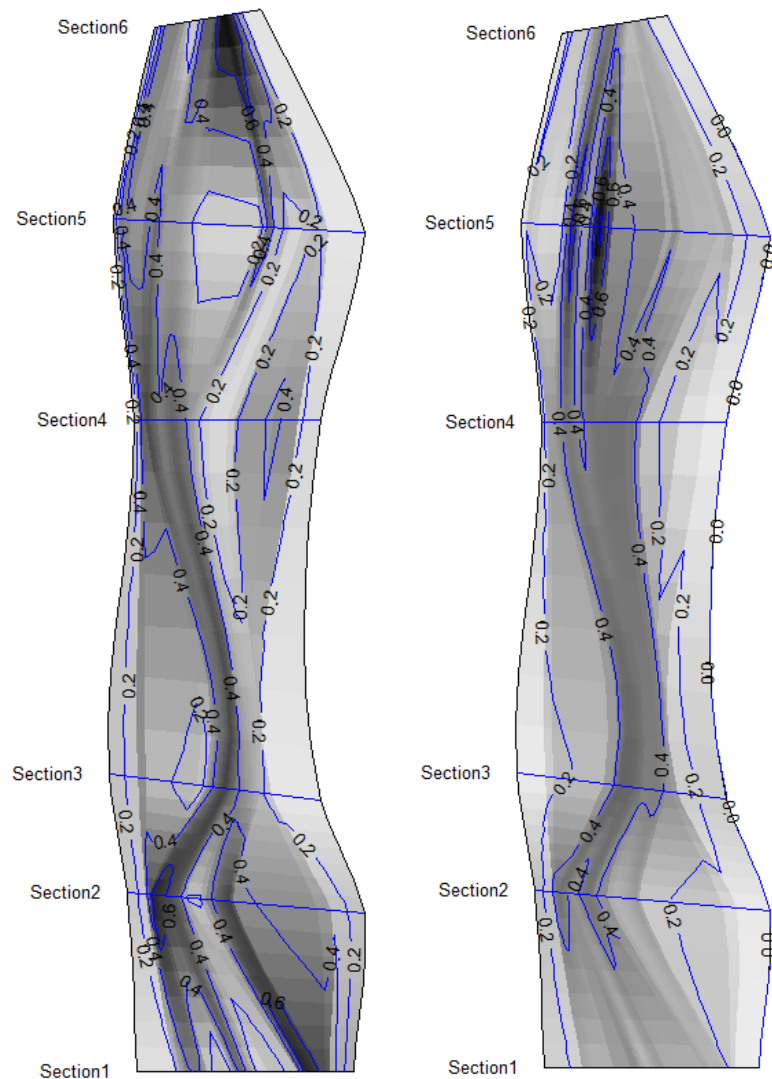


Figura 42: Distribución de profundidades y velocidades en el río Arenal para $Q=0,296\text{m}^3/\text{s}$

En los datos correspondientes a la segunda campaña, se registró un caudal medio de 0,517 m³/s así una profundidad media de 0,43m y una velocidad media de 0,45m/s (Figura 47).

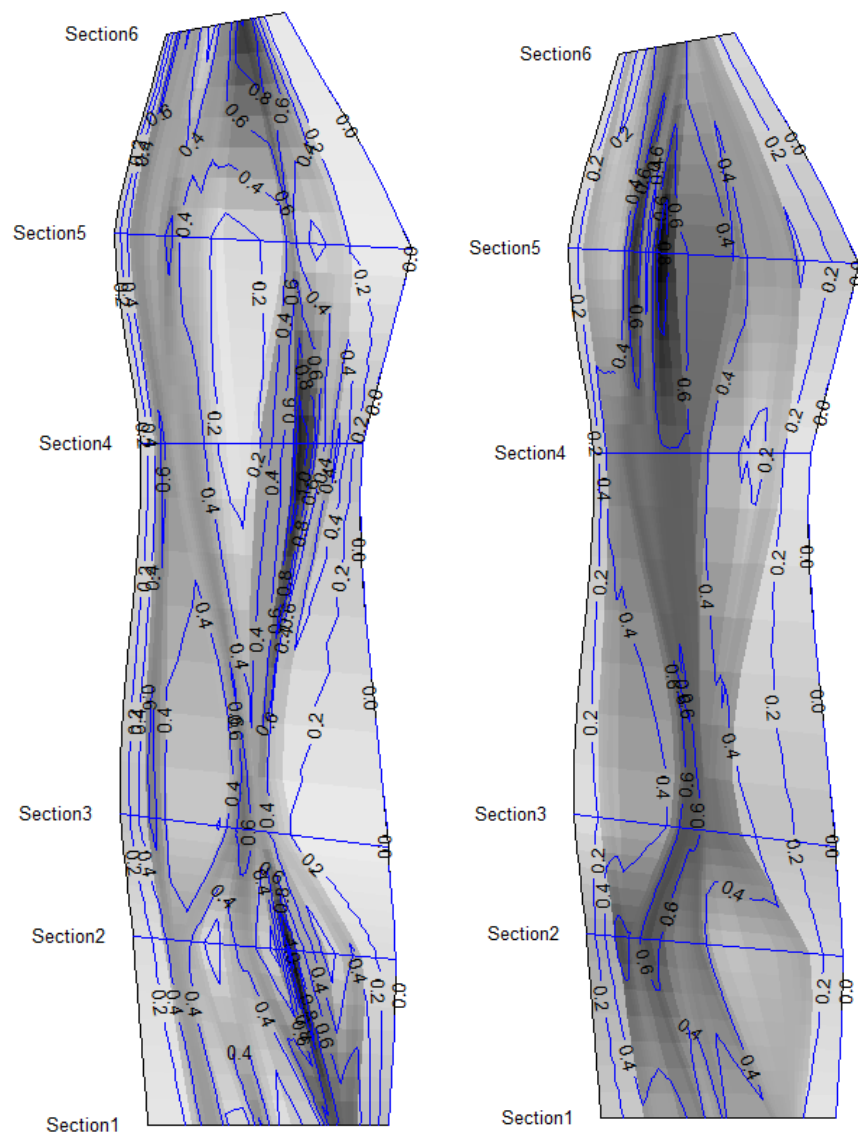


Figura 43: Distribución de profundidades y velocidades en el Arenal para $Q=0,517\text{m}^3/\text{s}$

El río Arenal muestra un caudal medio anual de $0,644\text{ m}^3/\text{s}$ en régimen natural. Con el registro de datos que se ha podido utilizar para la elaboración de este trabajo, la variación del caudal natural que se ha podido apreciar para este río ha sido el siguiente.

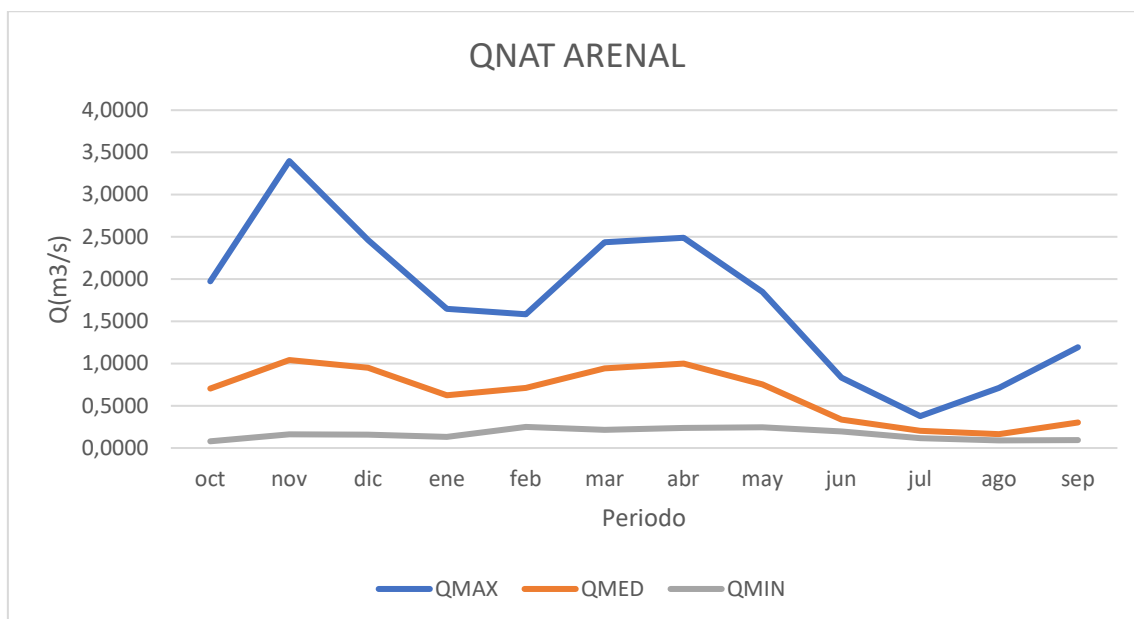


Figura 44: Régimen de caudal natural en el Arenal

Los diferentes estadios, representan las siguientes curvas de habitabilidad para los diferentes caudales simulados.

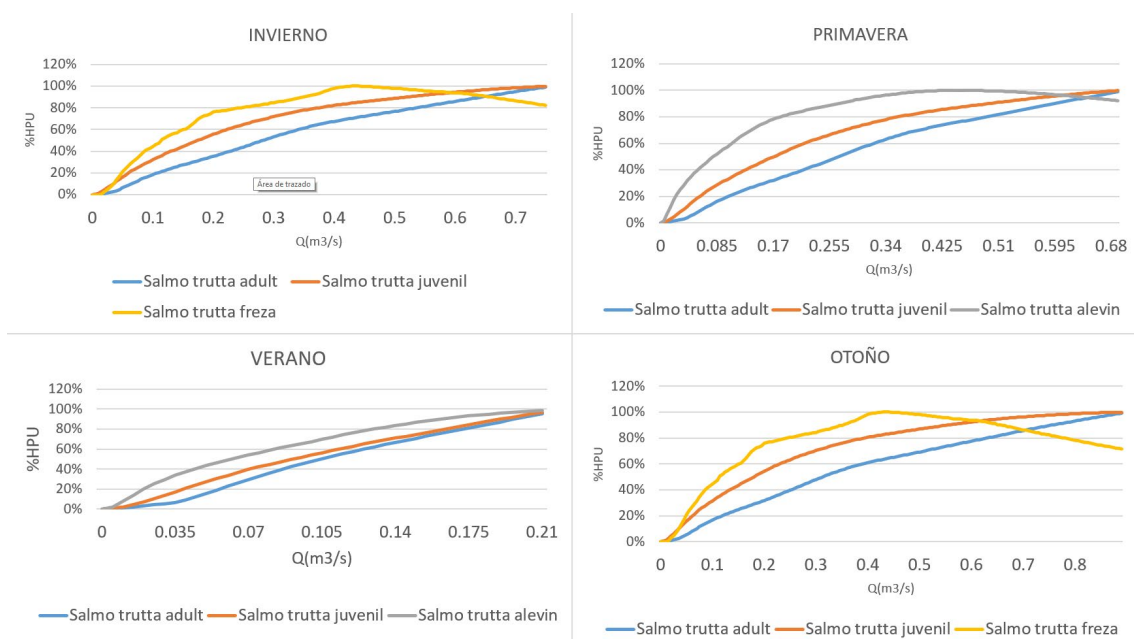


Figura 45 Curvas HPU-Caudal en el Arenal

En las curvas que se aprecia que el estadio limitante es la trucha adulta. la diferencia por la cual la limitante es la trucha adulta es bastante notoria en los casos de invierno, primavera y otoño. Durante la época de verano, observamos que las curvas $\%HPU/HPU_{max}$ son bastantes similares para los tres estadios considerados, lo que significa que las diferencias a la hora de establecer el caudal ecológico según el umbral del 80% HPU_{max} es muy similar para los tres estadios y, especialmente, para la trucha adulta y juvenil. Por otra parte, la freza presenta un crecimiento acusado en la zona de caudales medio bajos y eso le permite alcanzar el máximo de su hábitat



antes que el resto de los estadios. También hay que comentar que una vez alcanza el máximo, a la vez que sigue aumentando el caudal que estamos simulando, el hábitat empieza a disminuir. Para el caso de la trucha alevín, se puede ver que el caso es bastante parecido al de la freza, con la diferencia de que una vez alcanza el máximo el hábitat potencial útil máximo se mantiene más estable.

Con las apreciaciones que se han hecho anteriormente el régimen de caudales ecológicos mínimos establecidos para el río Arenal es el siguiente.

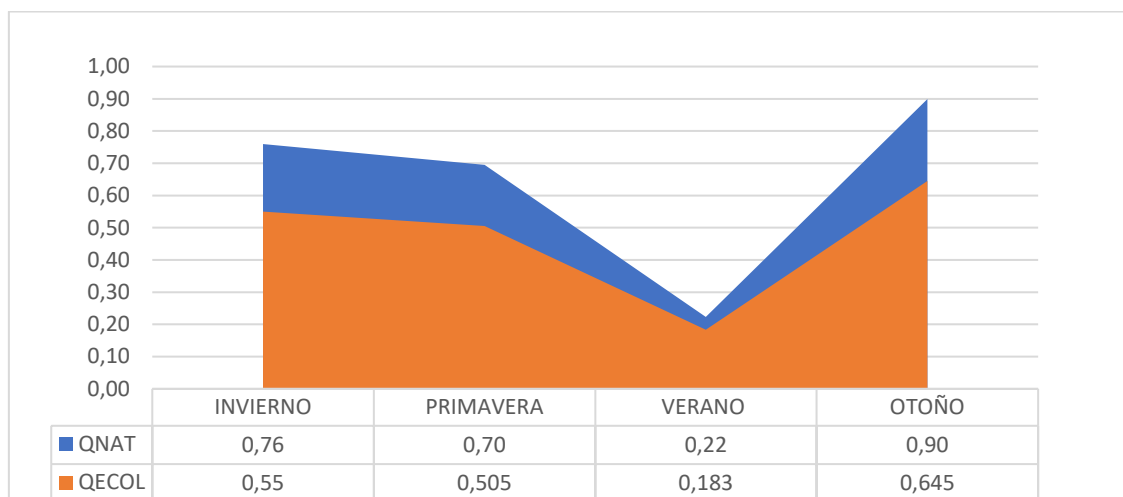


Figura 46: Régimen de caudales ecológicos en el río Arenal

Estos caudales ecológicos que se han calculado representan los siguientes porcentajes respecto al caudal natural circulante en el río.

ARENAL	QNATURAL	QECOL	%QECOL/QNAT
INVIERNO	0.76	0.55	72%
PRIMAVERA	0.70	0.505	73%
VERANO	0.22	0.183	82%

Tabla 8: Representación del caudal ecológico frente al natural en el río Arenal



4.7.-BULNES

El río Bulnes se encuentra en la cuenca del Cares en la zona norte del límite que marca el PNPE. las características de estudio para el río Bulnes consta de una longitud de 16,09 m y una altitud de 129 m. Durante la primera campaña el caudal medio registrado es de 0,345 m³/s dándose así una profundidad media de 0,33m y una velocidad media de 0,33m/s (Figura 47).

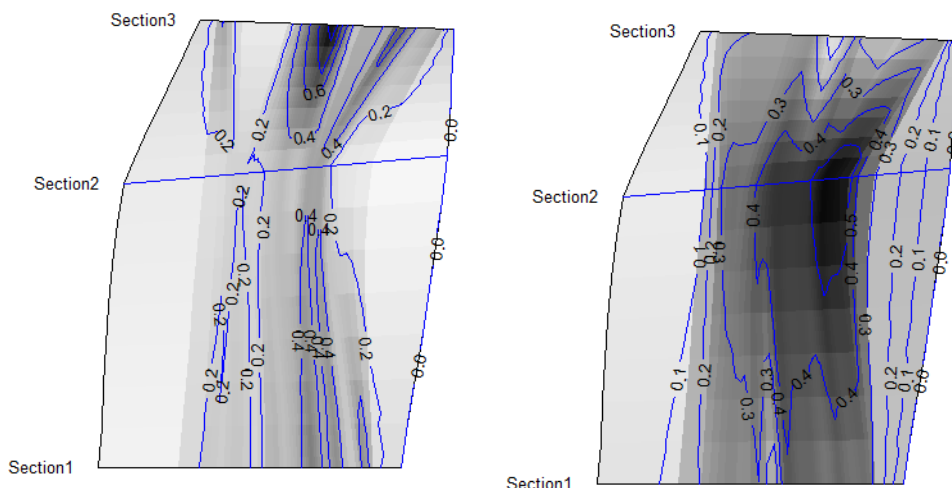


Figura 47: Distribución de profundidades y velocidades en el rio Bulnes para $Q=0,345\text{m}^3/\text{s}$

Durante la segunda campaña de mediciones el caudal medio registrado es de 0,599 m³/s dándose así una profundidad media de 0,49m y una velocidad media de 0,33m/s (Figura 48).

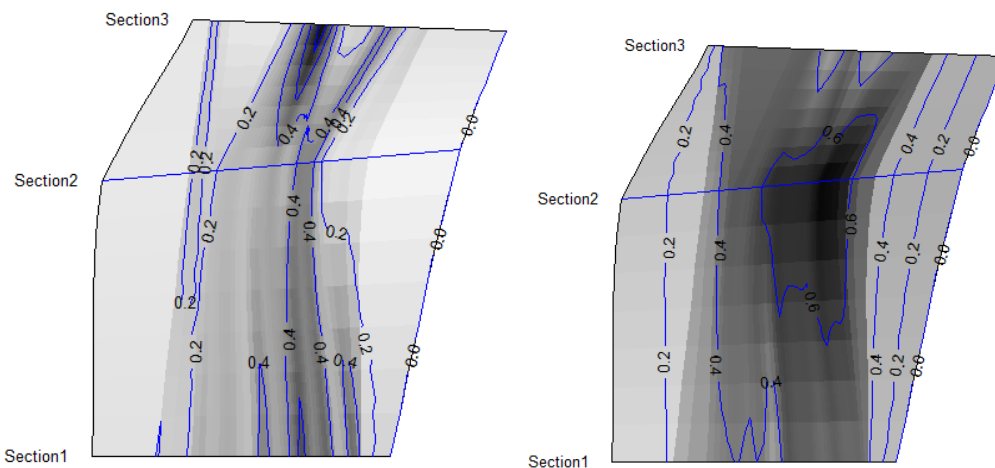


Figura 48: Distribución de profundidades y velocidades en el rio Bulnes para $Q=0,599\text{m}^3/\text{s}$

El sustrato del cauce está compuesto de un 35% de roca, un 55% de piedra y un 10% de grava.

El río Bulnes muestra un caudal medio anual de 0,581 m³/s en régimen natural. Las fluctuaciones que ha tenido el caudal natural durante el periodo que estamos analizando ha sido el que se puede observar en la siguiente imagen.

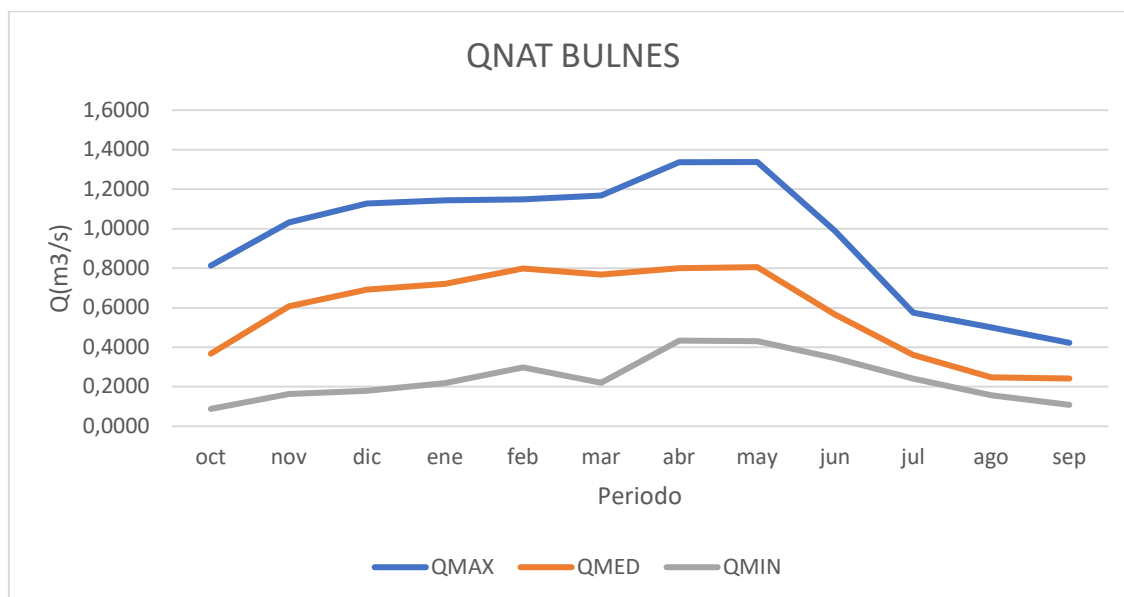


Figura 49: Régimen de caudal natural en el río Bulnes

Con los datos que tenemos, las curvas que nos comparan el hábitat potencial útil máximo con el caudal son los siguientes.

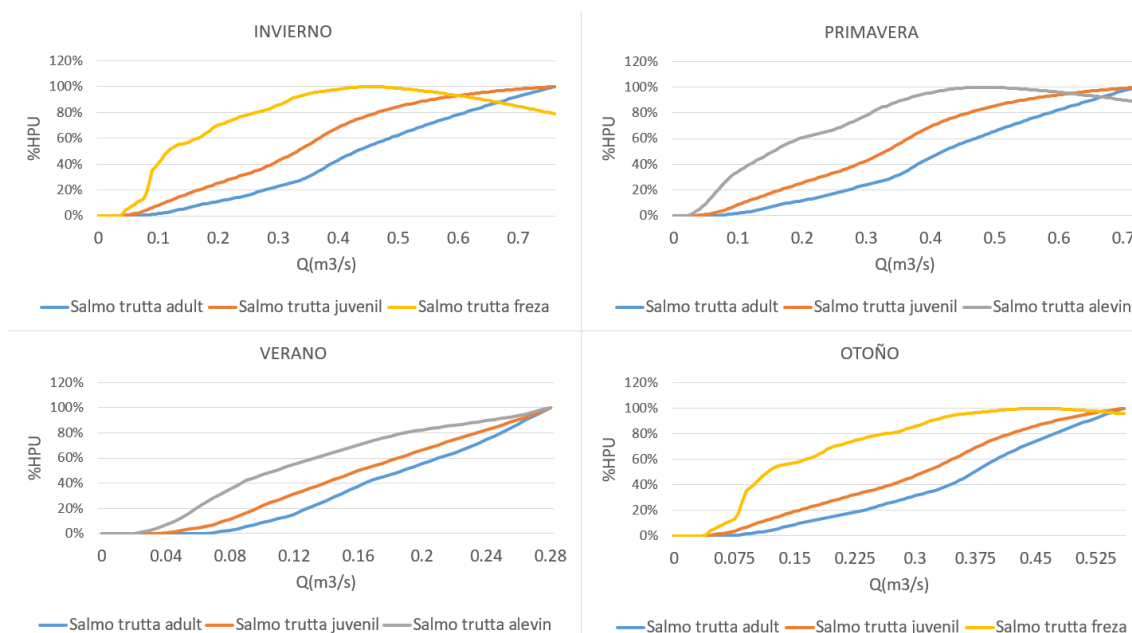


Figura 50: Curvas HPU-Caudal en el Bulnes

El estadio limitante es la trucha adulta puesto que requiere caudales mayores para mantener un porcentaje de HPU por encima del umbral establecido. la ley de crecimiento que siguen las curvas HPU/HPU_{max} de la trucha adulta es muy similar durante las cuatro estaciones, produciéndose un crecimiento estable y continuo para todo el rango de caudales modelados. Es decir, las curvas obtenidas para la trucha adulta no muestran ningún límite asintótico en ese rango. Por otro lado, podemos observar que la ley de crecimiento del HPU de la trucha juvenil es muy similar a la del adulto con la única diferencia de que consigue mayor hábitat para un mismo caudal. En el caso de la freza, se vuelve a dar la situación de que experimenta un



crecimiento del hábitat bastante marcado para caudales medios bajos hasta alcanzar su máximo. Es cierto que, en la época otoñal, una vez alcanzado el máximo consigue estabilizarse. El hábitat aun cuando el caudal sigue aumentando. No es el caso en la época invernal donde se ve claramente que, a partir de conseguir su pico máximo, al seguir aumentando el caudal su hábitat tiende a decaer. En cuanto, a los alevines, en la época primaveral es el estadio que más rápido alcanza el máximo de su hábitat, es decir, el estadio que más hábitat puede presentar para unos caudales más bajos, una vez alcanza el máximo en $0,46 \text{ m}^3/\text{s}$, no logra mantener ese hábitat. En cambio, en verano, la ley del crecimiento es una ley bastante lineal acorde al aumento del caudal que se va dando en el río.

Con las apreciaciones que se han podido hacer anteriormente, el régimen de caudales ecológicos mínimos que se ha establecido para este río en función de las limitaciones que nos presenta la trucha adulta, ha sido el siguiente.

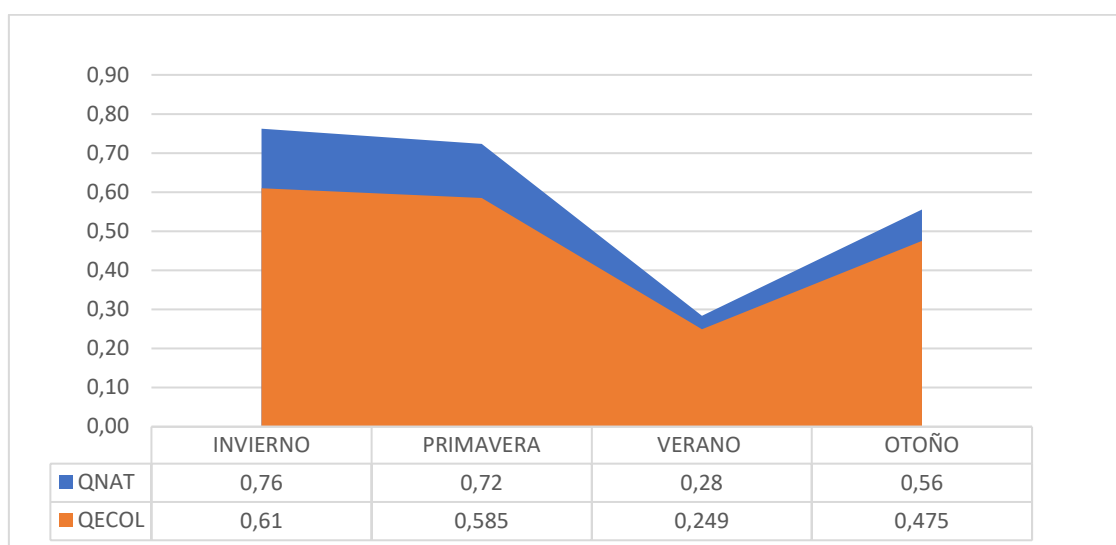


Figura 51: Régimen de caudales ecológicos mínimos en el río Bulnes

Estos caudales ecológicos que se han calculado representan los siguientes porcentajes respecto al caudal natural circulante en el río.

BULNES	QNATURAL	QECOL	%QECOL/QNAT
INVIERNO	0.76	0.61	80%
PRIMAVERA	0.72	0.585	81%
VERANO	0.28	0.249	88%
OTOÑO	0.56	0.475	86%

Tabla 9: Representación del caudal ecológico frente al natural en el río Bulnes



4.8.- CARES

El río Cares es uno de los ríos más importantes de la zona. El tramo de estudio que sea analizado consta de una longitud de 37,71 m y una altitud de 716,5 m. Durante la primera campaña el caudal medio que se ha registrado ha sido de $0,24 \text{ m}^3/\text{s}$ dándose así una profundidad media de $0,29 \text{ m}$ y una velocidad media de $0,3 \text{ m/s}$ (Figura 52).

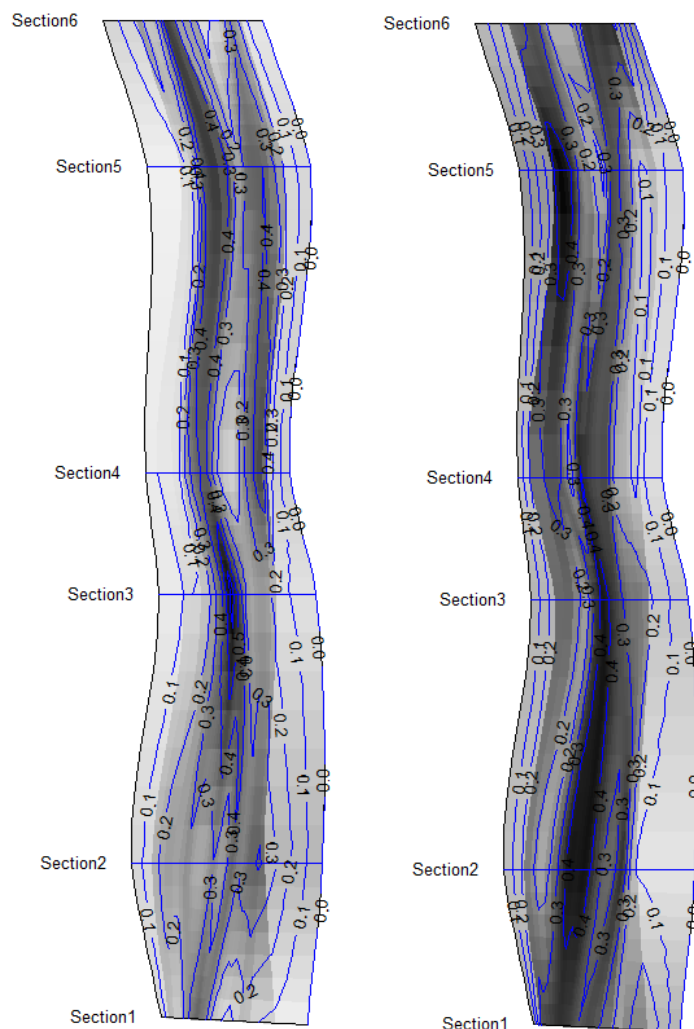


Figura 52: Distribución de profundidades y velocidades en el río Cares para $Q=0,24 \text{ m}^3/\text{s}$

Con las mediciones correspondientes a la segunda campaña el caudal medio registrado ha sido de $0,668 \text{ m}^3/\text{s}$ dándose así una profundidad media de $0,33 \text{ m}$ y una velocidad media de $0,67 \text{ m/s}$ (Figura 53).

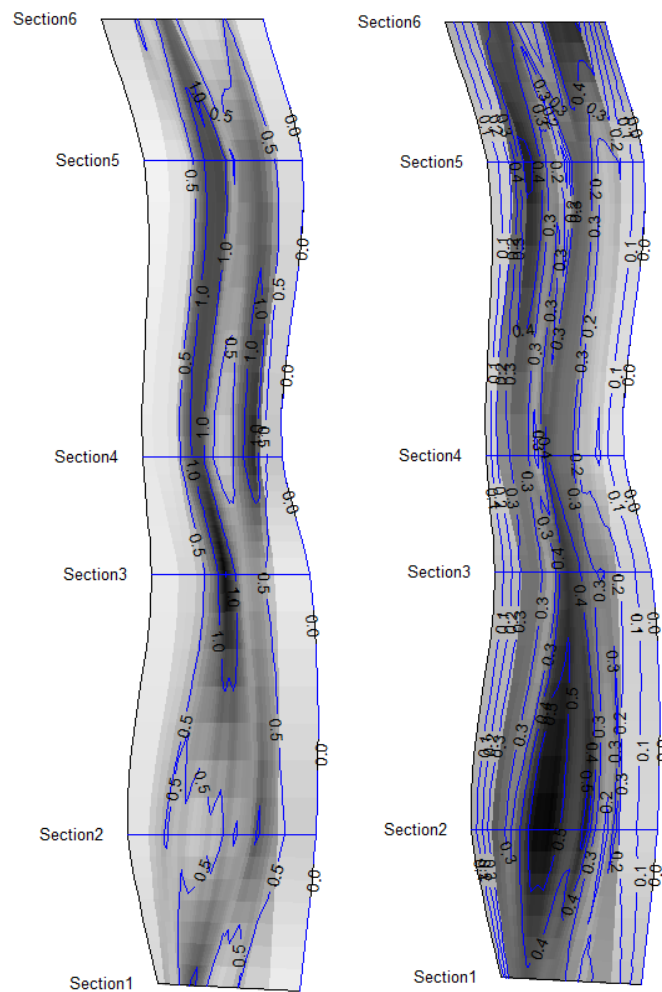


Figura 53 Distribución de profundidades y velocidades en el río Cares para $Q=0,668\text{m}^3/\text{s}$

El sustrato del cauce está compuesto de un 80% de roca y un 20% de piedra.

El río Cares muestra un caudal medio anual de $0,707\text{ m}^3/\text{s}$ en régimen natural. La evolución del caudal natural en el período que se está analizando es el que se puede ver en la siguiente imagen.

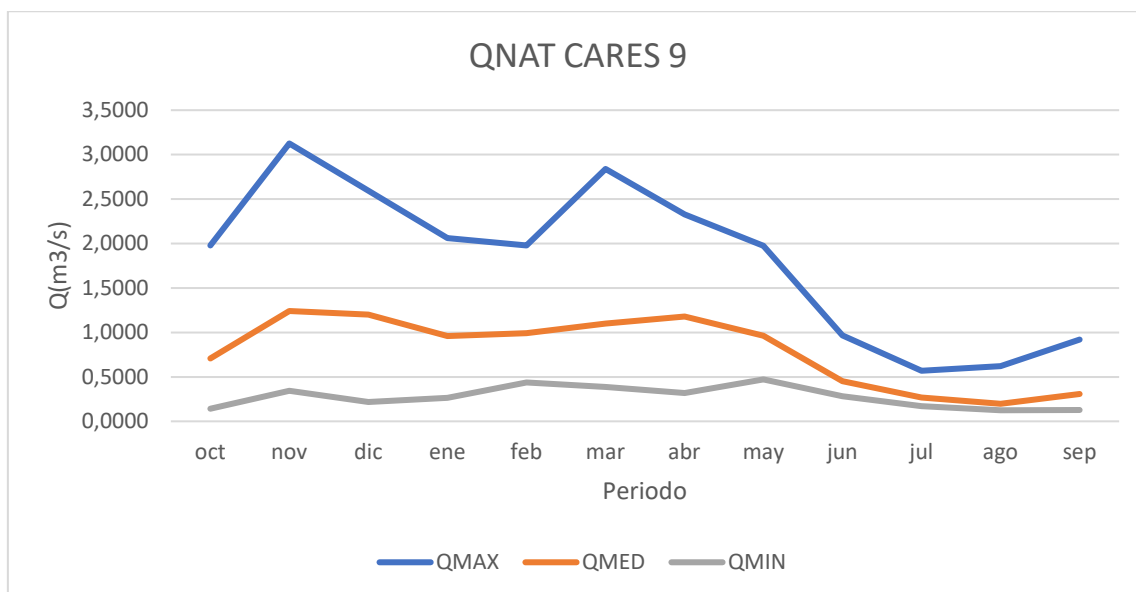


Figura 54: Régimen de caudal natural en el Cares

Con los datos que se ha recopilado se han podido obtener las siguientes curvas %HPU_{max} vs Caudal.

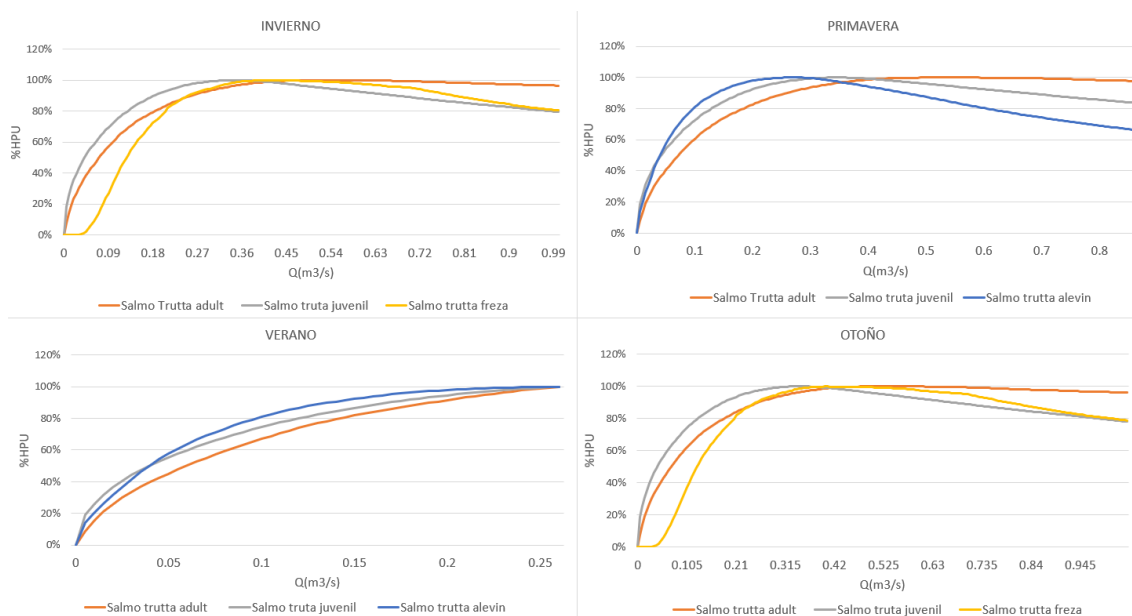


Figura 55: Curvas HPU-Caudal en el Cares

Como se puede apreciar en los resultados que hemos obtenido, hay que diferenciar las estaciones de invierno y otoño de las estaciones de verano y primavera. Esto es porque en la primera situación, el estadio limitante es la freza y en el segundo caso lo es el adulto. Se puede apreciar que para el caso de otoño, invierno y primavera como las curvas de crecimiento de los diferentes estadios son muy similares. En todas estas curvas podemos ver que, para el caso de los juveniles, alevines y de la freza, una vez alcanzan el hábitat máximo no logran estabilizarse a medida que el caudal sigue aumentando y es por ello por lo que las curvas empiezan a disminuir. No es así el caso de los adultos. También se puede apreciar que en el caso del verano los 3



estadios que se pueden analizar durante esa época sufren un crecimiento muy parejo. En esta época se puede ver que el máximo de su hábitat potencial útil si alcanza con el caudal máximo simulado.

Con los aspectos que se han podido analizar previamente, el régimen de caudales ecológicos mínimo que se ha podido establecer en este río ha sido el siguiente.

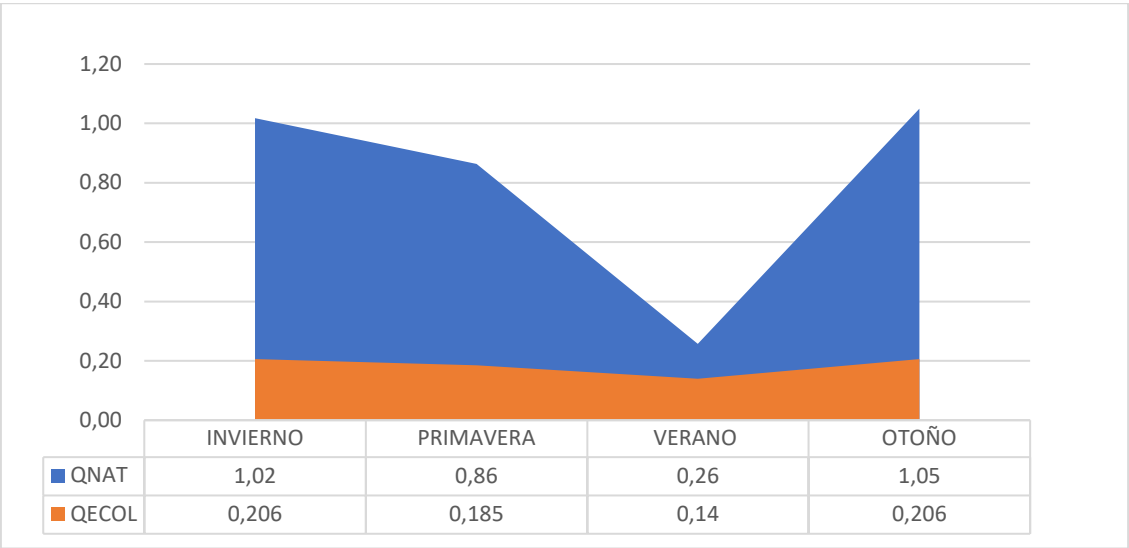


Figura 56: Régimen de caudales ecológicos mínimos en el río Cares

Estos caudales ecológicos que se han calculado representan los siguientes porcentajes respecto al caudal natural circulante en el río.

CARES	QNATURAL	QECOL	%QECOL/QNAT
INVIERNO	1.02	0.206	20%
PRIMAVERA	0.86	0.185	21%
VERANO	0.26	0.14	54%
OTOÑO	1.05	0.206	20%

Tabla 10: Representación del caudal ecológico frente al natural en el río Cares



5.- DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este apartado se tratará de presentar las conclusiones más significativas de los resultados y de la metodología empleada en este trabajo.

1. Q natural vs Q ecológico:

%QECOL/QNAT	ANIEZO	BULLON	CASAÑO	DEVA 10	DUJE AFORO	ARENAL	BULNES	CARES
INVIERNO	60%	71%	45%	17%	66%	72%	80%	20%
PRIMAVERA	60%	84%	51%	24%	67%	73%	81%	21%
VERANO	77%	94%	71%	52%	74%	82%	88%	54%
OTOÑO	56%	66%	48%	17%	74%	72%	86%	20%

Tabla 11: Representación del caudal ecológico frente al natural en cada tramo de estudio en las diferentes estaciones del año

A priori, se puede pensar que los ríos más grandes, es decir, los más caudalosos, pueden tener una relación de $Q_{\text{ecol}}/Q_{\text{nat}}$ pequeños, puesto que, en esos ríos, las condiciones que hacen falta de velocidad, profundidad y caudal se pueden llegar a dar antes que en los ríos pequeños para poder generarse las condiciones adecuadas para el hábitat de las especies. Con los datos obtenidos, podemos corroborar que la hipótesis es correcta. Los tramos fluviales más grandes analizados en este trabajo son Casaño, Deva y Cares. En estos tramos fluviales se puede apreciar como las curvas de habitabilidad tienden a crecer rápidamente para caudales bajos. También es cierto que, al ser ríos tan grandes, estos tramos fluviales pueden albergar mucho caudal aumentando así la profundidad y la velocidad en diferentes puntos del cauce provocando así que las condiciones necesarias para el hábitat de algunos estadios de la trucha empiecen a empeorar. Esto pasa para los estadios más débiles como es el caso de la freza y de los alevines. Por el contrario, en los ríos pequeños cuesta más que se dé la situación de habitabilidad adecuada para los diferentes estadios, aunque es cierto que una vez se alcanza este estado de idoneidad, la habitabilidad se prolonga más que en los ríos grandes. Esto se ve reflejado en las curvas con un límite asintótico en zona de caudales altos.

En todos los tramos fluviales que se han analizado en este trabajo se ve que por estaciones todos siguen el mismo patrón. El caudal ecológico representa un alto valor del caudal natural en verano. Esto es porque esta época se corresponde a la falta de lluvias y eso hace que el caudal natural disminuya en toda la red fluvial. Las condiciones de habitabilidad en cambio no disminuyen de igual manera que lo hace el caudal, sino que se mantiene estable. Es por ello por lo que, al necesitar un caudal ecológico mínimo para satisfacer las demandas biológicas de los diferentes estadios durante todas las estaciones, al verse reducido el caudal natural, el porcentaje se ve aumentado significativamente. Vemos que este aumento llega a ser del orden del doble en los ríos Cares, Deva y Casaño. Estos ríos son los más grandes analizados en el trabajo tal y como se ha dicho anteriormente. Estos ríos, son los que mayores fluctuaciones sufren en el caudal natural y es por ello por lo que las condiciones de habitabilidad siguen ese patrón.

2. Estadios más limitantes

Las curvas de HPU-Cadual nos nutren de mucha información referente a como el hábitat disponible para los diferentes estadios de trucha cambia en función de su preferencia por las condiciones de velocidad y profundidad y del caudal circulante. Esto depende,



obviamente a como los cambios de caudal se traducen en cambios de velocidad y profundidad, que varían de unos tramos fluviales a otros. Por lo general, se ha podido observar que los patrones en las estaciones de otoño, invierno y primavera son muy parecidos. En ellas se ven curvas que contienen puntos de inflexión bastante claras en los que se muestra una tendencia muy marcada a conseguir la HPU_{max} del estadio y después mantenerse independientemente al aumento del caudal. Esto no es exactamente así para el caso del hábitat disponible durante la época de frezas. En ellas se puede observar cómo tienden a alcanzar la máxima habitabilidad y a medida que el caudal va en aumento, la habitabilidad empieza a decrecer de manera más o menos abrupta en función de las características del río. En el caso del río Deva, por ejemplo, en invierno, se puede ver que la cantidad de hábitat disponible para la freza, una vez alcanza su máximo, empieza a decrecer de manera rápida hasta empezar a estabilizarse en torno al 23% del hábitat para los caudales máximos simulados. Esto se corresponde con los que esperaríamos en un principio de acuerdo con el comportamiento, reflejado en las curvas de preferencia, de esta especie durante la época de reproducción. En este sentido, la freza no se produce durante caudales altos, ya que el aumento de la velocidad hace más difícil el desove y fecundación de los huevos y puede conllevar el arrastre de los huevos aguas abajo, y, por tanto, la pérdida de la “prole”.

Los alevines tienen cierta tendencia a recrear las situaciones simuladas con la freza, aunque es cierto que la caída de la habitabilidad es menor que en el caso de la freza.

En cuanto a los adultos y juveniles, tienen esa tendencia que mencionaba al principio del punto. Una vez alcanzan el máximo, se mantienen estables hasta los caudales máximos simulados. Es cierto que el estadio que más limita la selección de los caudales ecológicos es el adulto. El crecimiento de la habitabilidad de este estadio es muy pequeño con caudales bajos. Necesitan caudales altos que se den las condiciones hidráulicas preferidas por este estadio, y eso se ve reflejado, sin lugar a duda, en las curvas $\%HPU/HPU_{max}$. Es cierto también que, al tratarse de zonas de alta montaña, en la mayoría de los tramos estudiados las profundidades que se dan son relativamente pequeñas y eso también influye en la cantidad de hábitat.

3. Impacto potencial de los caudales ecológicos sobre las actividades económicas del PNPE

Este trabajo se ha elaborado en tramos de la red fluvial correspondiente al PNPE. Se trata de un entorno natural donde la conservación del medio es la máxima prioridad, pero donde también se dan actividades económicas importantes para la riqueza local como son el turismo, la generación de energía hidroeléctrica y la ganadería. La mayor cantidad de turistas acuden al parque en la época veraniega. Esta época es el periodo en el que menos precipitación se da y es por ello por lo que los caudales que llevan los ríos son más escasos que en épocas de lluvia. Como se ha comentado, al haber una cantidad de turistas visitando el parque, el consumo de agua se verá incrementado y, de alguna manera, habrá que abastecer las necesidades locales. Tal y como se ha explicado en el apartado de los resultados, los caudales ecológicos en verano son un problema en 3 ríos (Bulnes, Bullón y Arenal). Al tener que dejar caudales ecológicos que significan más del 80% del caudal natural en verano, eso deja poco margen para satisfacer las demandas necesarias en la zona. Lo mismo en el caso de las centrales hidroeléctricas. En estos tramos en los que el caudal ecológico mínimo es tan ajustado, se deja poco margen para turbinar y eso genera pérdidas



económicas importantes en la zona. Llegados a este punto, se puede llegar a plantear primar la economía por encima de la conservación del ecosistema. Con esto, la parte económica por parte de la producción de electricidad daría un paso significativo, pero al primar antes esa economía, se estaría degradando el ecosistema del PNPE influyendo así en la ganadería y en el turismo. Si se degradara el hábitat del parque, la actividad ganadera de la cual viven los vecinos de las diferentes localidades vería afectado su lugar de trabajo y esto ocurriría con la atracción del turismo. Si este parque es conocido es porque es el parque natural más antiguo de España y porque en él conviven diferentes especies de flora y fauna que lo hacen atractivos para ese cometido. Es por ello por lo que es muy difícil establecer un punto de equilibrio a la hora de obtener los caudales ecológicos. La gestión integral de recursos hídricos busca orientar el desarrollo de las políticas públicas en materia de recursos hídricos encontrando el equilibrio entre el desarrollo económico y social y la protección del ecosistema. Hay que puntualizar también, que, en el caso de las hidroeléctricas, el resto del año tienen suficiente margen como para poder turbinar dejando fluir el caudal ecológico mínimo necesario.

4. Grado de incertidumbre

A la hora de establecer los caudales ecológicos mínimos en los diferentes tramos analizados, he detectado factores que introducen cierta incertidumbre en el estudio. Estos factores son los siguientes:

a. Datos topográficos e hidráulicos:

Debido al terreno montañoso en el que se trabaja, puede llegar a suceder que la precisión de los datos que se toman no sean lo más precisos si se toman los datos mediante equipos GPS. Estas imprecisiones se pueden dar a la hora de tomar referenciados los puntos en los que se realiza la toma de datos, a la hora de definir la topografía del lugar por culpa de la vegetación es posible que se dé pérdida de datos del perfil del terreno y es posible que al no tomar con total precisión las referencias de los datos, que los datos hidráulicos que se estén tomando en diferentes campañas no correspondan introduciendo así un cierto grado de incertidumbre en el modelo hidráulico. Es por ello por lo que es importante el uso de equipos de gran precisión como los que se han empleado en la realización de este trabajo.

b. Datos hidrológicos:

Existe un grado de incertidumbre en las series de caudales utilizadas para la caracterización de los caudales naturales. En este sentido, los datos provienen del modelo SIMPA desarrollado por el CEDEX a escala nacional. Esta escala puede resultar demasiado grosera para la escala espacial de este trabajo, localizado en una zona muy concreta de la geografía.

c. Manera de establecer el caudal mínimo ecológico:

A la hora de calcular los caudales ecológicos mínimos, en este trabajo se ha realizado por estaciones. Esta información sirve para hacernos una idea de cuál puede ser la situación en un determinado tiempo, pero puede darse la situación de que, en otras



determinadas épocas del año, el caudal natural circulante por el río sea menor que el caudal ecológico mínimo que se ha establecido. Esta situación puede verse con más probabilidad en épocas en las que las lluvias son escasas.

5. Mejoras para reducir el grado de incertidumbre:

- a. Uno de los grados de incertidumbre más grande lo genera la falta de datos hidrológicos para establecer los caudales naturales circulantes en cada tramo de estudio. Para ello, es importante la realización de un plan de análisis hidrológico adecuado por parte de las confederaciones hidrográficas. Disponiendo de esas bases de datos certeras, es posible que se pueda anticipar a los diferentes acontecimientos climatológicos y que se puedan cuantificar diferentes situaciones como es el ejemplo de las sequías. En este sentido, el grupo de investigación donde se ha realizado el presente trabajo se encuentra desarrollando modelos hidrológicos específicos para la zona de estudio, el PNPE, que permitirán mejorar tanto las series de datos históricas como las proyecciones a futuro, lo cual representa un elemento esencial para poder cuantificar los efectos del cambio climático sobre los caudales y los ecosistemas que dependen de él.
- b. Para un mejor conocimiento del área de estudio, se pueden implantar diferentes elementos como los caudalímetros en los que se pueda apreciar cuales son los diferentes patrones que se pueden encontrar en ese tramo de la red fluvial.



6.-BIBLIOGRAFÍA

- ICID. (6 de Septiembre de 2007). Obtenido de
<https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Freshwater/EnvironmentalFlows/MethodsandTools/ELOHA/Documents/Brisbane%20Declaration-Spanish.pdf>
- Jowett. (1999). *Jowett Consulting*. Obtenido de
<https://www.jowettconsulting.co.nz/home/rhyabsim>
- WWF. (Octubre de 2018). *WWF*. Obtenido de <https://www.wwf.es/?50020/Espana-es-el-pais-con-mayor-sobreexplotacion-de-agua-de-Europa>